

Klimarådet.

• • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • •
• • • • • • • • • • • • • • • •

Baggrundsnotat 1

Scenarier, modeller, antagelser og vurderingsmetode

Baggrundsnotat til analysen *Danmarks klimamål i 2050*.

1	Indledning	2
2	Modelværktøjer til beregning af scenarier	3
2.1	Scenarieværktøj for energi, industri og transport mv.	7
2.2	BioRes model for skov, landbrug og arealer	8
2.3	Modelværktøjernes resultater	10
2.4	Grundantagelser for landbrug, skovbrug og arealanvendelse	12
2.5	Grundantagelser for energi, industri og øvrige sektorer	14
3	Omstillingselementer	16
3.1	Omstillingselementer for skov, landbrug og arealer	17
3.2	Omstillingselementer i energi, industri og øvrige sektorer	19
4	Kendt Omstilling	21
4.1	Kendt omstilling af skov, landbrug og arealer	21
4.2	Kendt omstilling i energi, industri og øvrige sektorer	22
5	Hovedscenarier	26
6	Oversigt over antagelser og omstillingselementer i hovedscenarierne	33
7	Vurdering af hovedscenarierne ud fra udvalgte samfundshensyn	38
7.1	Metode til vurdering af scenarier	38
7.2	Vurdering af hovedscenarierne	46

Klimarådet.

8	Alternative scenarier	51
8.1	Alternativt scenarie 1: Kombination af Ny Hverdag 110 og Ny Teknologi 110.....	51
8.2	Alternativt scenarie 2: Ny Teknologi 110 uden DAC.....	54
8.3	Alternativt scenarie 3: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om natur.....	57
8.4	Alternativt scenarie 4: Ny Hverdag 110 uden rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring	59
8.5	Alternativt scenarie 5: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om produktion af brændstoffer	61
8.6	Alternativt scenarie 6: Ny Teknologi 110 med opvejning af plastforbrug og kondensstriber	64
8.7	Oversigt over antagelser og omstillingselementer i Alternativt scenarie 1 og 4.....	68
8.8	Oversigt over antagelser og omstillingselementer i Alternativt scenarie 2, 3, 5 og 6.....	73
	Referencer.....	78

1 Indledning

Analysen *Danmarks klimamål i 2050* undersøger, hvordan Danmark kan opfylde langsigtede klimamål i 2050. Analysens formål, resultater, konklusioner og anbefalinger er beskrevet i hovedrapporten.

Danmarks klimamål i 2050 indeholder scenarier for, hvordan et territorielt klimamål i 2050 kan opfyldes. I rapporten har Klimarådet valgt at se på to forskellige klimamål: en reduktion på 100 pct., som er det mål, der er angivet i Klimaloven, og et mål på 110 pct., der er nævnt i regeringsgrundlaget fra december 2022.

Denne baggrundsrapport beskriver de anvendte modelværktøjer og de antagelser og omstillingselementer, der indgår i analysens scenarier. Rapporten indeholder desuden en uddybende beskrivelse af analysens vurdering af hovedscenarier ud fra udvalgte samfundshensyn og en beskrivelse af de seks alternative scenarier.

Danmarks drivhusgasudledning i 2050-scenarierne beregnes ved hjælp af modelværktøjer

Scenarierne er udarbejdet ved hjælp af en række modelværktøjer, som er udviklet til formålet. Modellerne holder styr på aktivitetsniveauer, energiforbrug og produktion og forbrug af ressourcer, herunder arealer og kulstof på årsbasis. De beregner Danmarks territoriale drivhusgasudledning i 2050 for hvert scenarie og beskrives nærmere i kapitel 2.

Modellerne indeholder omstillingselementer, fx skift til elbiler, varmepumper og elektrificering i industrien, som indgår i scenarierne. Scenarierne for 2050 opbygges ved at kombinere en fremskrivning af samfundets udvikling med en række omstillingselementer. Omstillingselementerne beskrives nærmere i kapitel 3.

Hovedscenarierne belyser to veje til at opfylde klimamål i 2050

Scenarierne bygger videre på en udvikling, hvor kendte omstillingselementer tages i brug og som kaldes Kendt Omstilling. Antagelser og omstillingselementer i Kendt Omstilling er beskrevet i kapitel 4.

Med udgangspunkt i den kendte omstilling er der analyseret to stiliserede veje, henholdsvis Ny Hverdag og Ny Teknologi, der når 100 og 110 pct. reduktion i 2050 i forhold til 1990. Det resulterer i fire scenarier:

- **Ny Hverdag 100**, der når en reduktion på 100 pct. primært ved at ændre produktion og forbrug
- **Ny Teknologi 100**, der når en reduktion på 100 pct. primært ved brug af ny teknologi
- **Ny Hverdag 110**, der når en reduktion på 110 pct. primært ved at ændre produktion og forbrug
- **Ny Teknologi 110**, der når en reduktion på 110 pct. primært ved brug af ny teknologi

Klimarådet.

Hovedscenarierne er beskrevet i kapitel 5. Kapitel 6 indeholder en samlet oversigt over antagelser og omstillingsselementer i Kendt Omstilling og hovedscenarierne.

En vurdering af hovedscenarierne sker ud fra udvalgte samfundshensyn

Hovedscenariernes styrker og svagheder vurderes i hovedrapporten ud fra udvalgte samfundshensyn fordelt på temaerne:

- Danmark som inspirationskilde
- Direkte globale effekter
- Barrierer for langsigtet omstilling

Kapitel 7 beskriver vurderingsmetoden og forklarer de kriterier, der ligger til grund for vurderingerne.

Alternative scenarier er hvad-nu-hvis-analyser

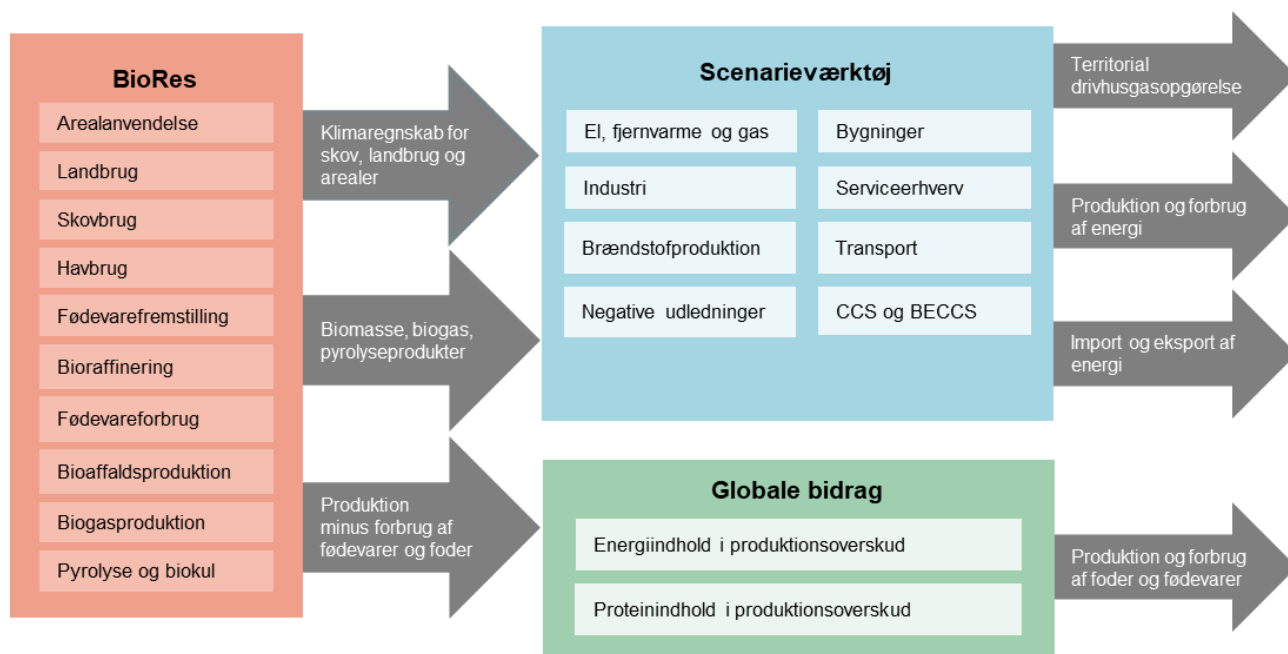
Der er udarbejdet en række alternative scenarier, som undersøger afgørende antagelser i de fire hovedscenarier. De alternative scenarier er formuleret som hvad-nu-hvis-spørgsmål og viser konsekvenserne af at ændre rammebetingelser eller træffe andre afgørende valg i scenarierne. Kapitel 8 beskriver de alternative scenarier og indeholder en samlet oversigt over antagelser og omstillingsselementer i disse scenarier.

2 Modelværktøjer til beregning af scenarier

I analysen opstilles en række scenarier for Danmarks fremtidige drivhusgasudledning, herunder scenarier, der viser hvordan Danmark kan opfylde klimamål i 2050. Scenarierne belyser, hvordan klimamål på 100 eller 110 pct. kan nås på forskellige måder. Til at opstille og analysere konsekvenserne af disse scenarier anvendes tre modeller:

1. **Scenarieværktøjet**, der modellerer energiproduktion og -forbrug samt udledninger i el-, fjernvarme- og gassektoren, industrien, transportsektoren, bygninger, serviceerhverv, affaldssektoren, brændstofproduktion samt en række øvrige mindre sektorer. I Scenarieværktøjet summeres den samlede energiproduktion og -forbrug samt udledninger for alle sektorer.
2. **BioRes**, der beregner udledninger fra arealer, landbrug og skov samt disse sektorerers produktion af biogene produkter herunder biomasse, biogas, fødevarer og foder.
3. **Globale bidrag**, der beregner scenariernes under- eller overskydende produktion af fødevarer og foder, målt i energi, protein og areal.

Figur 2.1 viser fordelingen mellem de anvendte modeller.



Figur 2.1 Opgavefordelingen mellem modelværktøjerne i Danmarks klimamål i 2050.

Kilde: Klimarådet.

Scenarierne inddrager arealanvendelsen og fødevarerproduktion

For at opnå et mål på 100 pct. skal Danmark opnå balance mellem udledninger af drivhusgasser til atmosfæren og optag og lagring af drivhusgasser fra atmosfæren. For at opnå et mål på 110 pct. skal Danmark optage og lagre flere drivhusgasser fra atmosfæren, end der udledes fra Danmark. Drivhusgasser opgøres ofte i CO₂-ækvivalenter, der forkortes CO₂e.

Optag af CO₂ fra atmosfæren kan ske via planter fotosyntese eller via andre metoder til negative udledninger, fx Direct Air Capture (DAC). Optag af CO₂ via fotosyntese sker i planter fx på marker, i skove og i naturområder. Den optagne CO₂ skal lagres for at undgå, at den udledes i atmosfæren igen. Det kan ske ved at kulstoffet, C, lagres i skov og jord, i biokul eller i forskellige materialer. Det kan også ske ved at CO₂ lagres i undergrunden. Da planter fotosyntese er en vigtig vej til at optage CO₂ fra atmosfæren, har arealanvendelsen, ikke mindst arealet med skov, stor betydning for, hvordan fremtidige klimamål kan opfyldes.

Der er en tæt sammenhæng mellem arealanvendelsen og Danmarks produktion af fødevarer. Jo mere areal, der afsættes til skov, jo mindre areal vil der alt andet lige være til at producere fødevarer på. Det kan derfor gå ud over afgrødeproduktionen, hvis det territoriale klimamål søges opfyldt ved at omlægge marker til skov. Det er derfor vigtigt at belyse fødevarerproduktionen i scenarierne. Typen af fødevarerproduktion, herunder størrelsen af den animalske produktion, har også stor betydning, både for Danmarks produktionsoverskud og for udledningen af drivhusgasser.

BioRes-modellen giver mulighed for at opstille forskellige scenarier for arealanvendelse og landbrugsproduktion.

Scenarierne belyser Danmarks bidrag til verdens forsyning med fødevarer og energi

Biologiske ressourcer fra landbrug og skovbrug kan høstes til fødevarer, foder, materialer og energi. Produkterne kan forarbejdes og forbruges i Danmark, eller de kan eksporteres. Danmark importerer også biogene produkter i form af foder, fødevarer, materialer og biomasse, som indeholder kulstof.

Langsigtede klimamål, og særligt klimamål på over 100 pct., kan ikke ses uafhængigt af Danmarks udveksling af kulstof med andre lande via kulstofholdige produkter. En stor import af kulstof fra andre lande kombineret med en lille eksport vil gøre det nemmere at opnå klimamålene. Danmark vil nemlig i så fald have mere tilgængeligt kulstof, som kan lagres i

Klimarådet.

form af biokul eller i form af CO₂ i undergrunden. Denne lagring vil kunne medregnes som negative udledninger i Danmarks drivhusgasopgørelse, hvis kulstoffet stammer fra biogene kilder. Omvendt vil en stor eksport af kulstof uden tilsvarende import gøre det sværere at opfylde danske klimamål.

Scenarierne belyser dele af Danmarks udveksling af kulstofholdige varer med omverdenen. Der fokuseres på fødevarer og foder for at belyse Danmarks potentielle bidrag til verdens fødevarerforsyning i de forskellige scenarier. Ved at ændre arealanvendelsen i Danmark, fx afsætte mere areal til natur eller skov, er det muligt at vise konsekvenserne for fødevarerforsyningen. Eller at vise konsekvenser af at ændre landbrugsproduktion, fx væk fra animalsk og over mod plantebaserede fødevarer. Modelværktøjerne BioRes og Globale Bidrag beregner Danmarks produktionsoverskud af fødevarer og foder målt i energi (PJ) og i protein. Sammenhængen mellem Danmarks territoriale klimamål og udvekslingen af kulstofholdige varer med omverdenen er uddybet i Boks 2.1.

Scenarierne belyser også Danmarks produktionsoverskud af energi, især i form af el og brint. Scenarierne viser dermed, i hvilket omfang Danmark potentielt kan bidrage til verdens energiforsyning. Produktionsoverskuddet af energi beregnes i Scenarieværktøjet.

Analysen omfatter ikke det danske forbrugsbaserede klimaaftryk, det vil sige de udledninger, som det danske forbrug af varer giver anledning til i udlandet. Der fokuseres alene på Danmarks produktionsoverskud af fødevarer, foder og energi. Analysen indeholder således også kun i begrænset omfang materialer og andre varer, der ikke er landbrugsvarer eller energi.

Beregninger og antagelser bag modelværktøjerne er beskrevet nærmere i følgende afsnit.

Klimarådet.

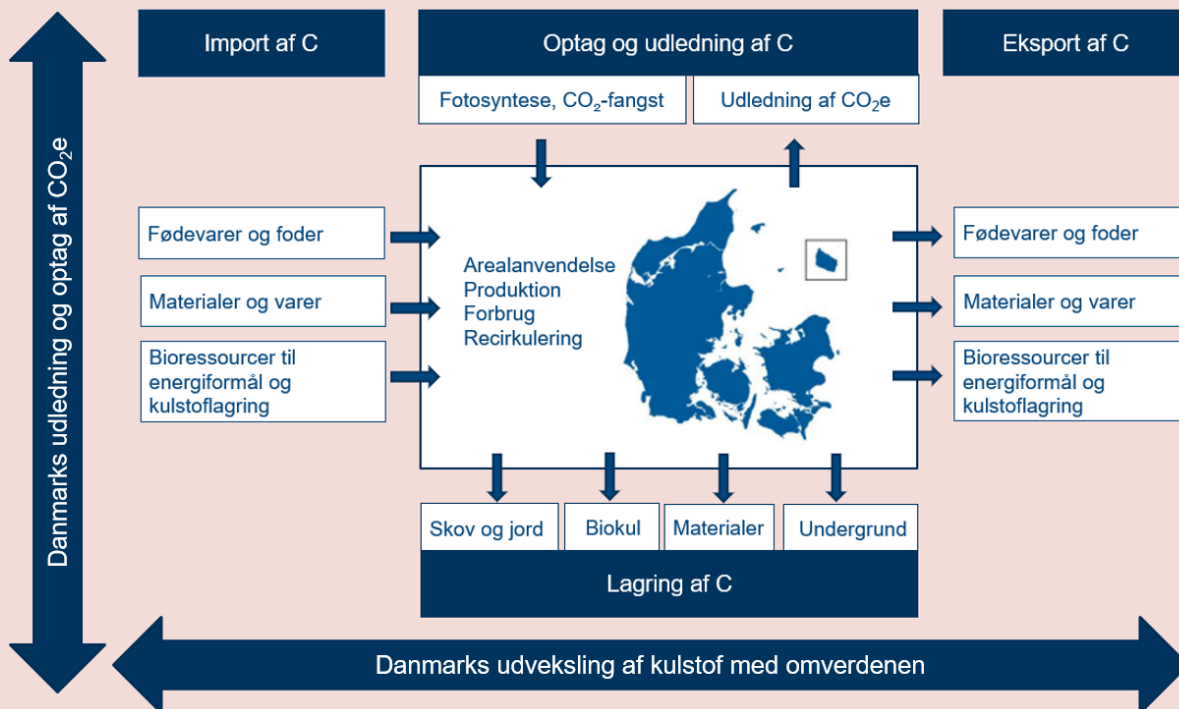
Boks 2.1 Scenarierne belyser udvalgte dele af Danmarks kulstofbalance

For at opnå et mål på 100 pct. skal Danmark opnå balance mellem udledninger af drivhusgasser til atmosfæren og optag af drivhusgasser fra atmosfæren. For at opnå et mål på 110 pct. skal Danmark optage og lagre flere drivhusgasser fra atmosfæren, end der udledes fra Danmark. Drivhusgasser måles i CO₂e.

Optag af CO₂ fra atmosfæren kan ske via planter fotosyntese eller via andre metoder, fx Direct Air Capture (DAC). Det midterste felt på figur 2.2 viser optag og udledningen af CO₂e til atmosfæren. Feltet viser også lagringen, som er en forudsætning for, at den optagne CO₂ forbliver uden for atmosfæren. Lagring kan ske i form af kulstof, C, i skov og jord, i biokul og i forskellige materialer. Lagring kan også ske i undergrunden i form af CO₂.

Danmarks opfyldelse af klimamål går ud på at opnå den rette lodrette balance på figur 2.2. Med andre ord, så repræsenterer den lodrette akse balancen mellem udledninger og lagring af drivhusgasser. Optag af CO₂ via fotosyntese sker i planter fx på marker, i skove og i naturområder. Størrelsen af optaget afhænger af arealanvendelsen og landbrugsproduktionen. Optaget afhænger desuden af, hvor meget CO₂, der kan optages via andre metoder fx DAC. Jo større de tilbageværende restudledninger er, jo større skal optaget være, hvis klimamålene skal opfyldes.

Biologiske ressourcer fra landbrug og skovbrug kan høstes til fødevarer, foder, materialer og energi. Produkterne kan forarbejdes og forbruges i Danmark, eller de kan udgøre et produktionsoverskud, som potentielt kan eksporteres. Danmark importerer også biologiske ressourcer i form af fødevarer, foder, materialer og bioenergi, som alle indeholder kulstof. Den vandrette akse på figur 2.2 viser Danmarks udveksling af kulstof med vores omverden via import og eksport af kulstof i foder, fødevarer, materialer og bioressourcer til energi og kulstoflagring.



Figur 2.2 Danmarks kulstofbalance

Anm.: CO₂-fangst omfatter *Direct Air Capture* og andre metoder til at fjerne CO₂ fra atmosfæren uden brug af planter fotosyntese.

Kilde: Klimarådet.

Scenarierne i *Danmarks klimamål i 2050* belyser sammenhænge mellem opfyldelsen af klimamål, Danmarks arealanvendelse og Danmarks produktionsoverskud af fødevarer og foder. Udvekslingen af andre varer og materialer belyses i begrænset omfang. Hovedscenarierne opfylder en rammebetingelse om, at der ikke importeres bioressourcer til energiformål og kulstoflagring.

Klimarådet.

2.1 Scenariевærktøj for energi, industri og transport mv.

Scenariевærktøjet beregner energiforbrug og -produktion og udledninger fra alle andre sektorer end landbrug, arealer og skov. Modellen er delt op i en række sektorer, der hver forbruger, producerer og/eller forarbejder energiprodukter. Modellen summerer sektorernes energiforbrug og -produktion og opgør det samlede forbrug af energi og brændsler i Danmark og beregner på baggrund deraf de fossile og biogene CO₂e-udledninger.

Scenariевærktøjet opgør energibehovene

Scenariевærktøjet anvender en række energiforbrug og energitjenester som input og beregner på baggrund deraf den nødvendige energiproduktion og resulterende CO₂e-udledning, som er nødvendig for at dække energiforbruget.

En energitjeneste afspejler selve nytten af et energiforbrug. Det kan fx være antal kørte km i en bil. Energiforbruget fra kørslen er et resultat af omfanget af den efterspurgte energitjeneste samt effektiviteten af bilen. Den samme energitjeneste kan derfor imødekommes med et lavere energiforbrug ved brug af effektive elbiler end ved brug af benzindieselmotorer, der er væsentligt mindre energieffektive.

Energiforbruget og energitjenestebehovet varierer alt efter scenarie. 'Forbrug' og 'behov' for energi skal her forstås som den energi, der efterspørges af samfundet på baggrund af en afvejning af omkostningerne ved at imødekomme forbruget over for nytten af forbruget.

Energieffektivisering og ændrede forbrugsmønstre antages især i Ny Hverdag at lede til en reduktion af energiforbrugene i flere sektorer i forhold til i dag. Dette vil i mange tilfælde repræsentere en ændret kurs, i det det vil bryde med historiske trends, hvor energitjenestebehovet i mange sektorer har været stigende. Tilsvarende vil det i flere sektorer også repræsentere en ændring i forhold til den trend, som fremskrives i Energistyrelsens *Klimastatus- og fremskrivning 2023* (KF23), der fremskriver indtil 2035.

I Ny Teknologi-scenarierne er energitjenestebehovene og energiforbrugene i de enkelte sektorer i mange tilfælde udregnet med udgangspunkt i udviklingstendenserne i KF23. Her er der i flere tilfælde ekstrapoleret til 2050 på baggrund af udviklingen i KF23. I andre tilfælde er energiforbrugene og energitjenestebehovene justeret på baggrund af faglige vurderinger og scenariespecifikke antagelser.

Scenariевærktøjet beregner den samlede energiproduktion

Scenariевærktøjet beregner den nødvendige energiproduktion for at forsyne de endelige energiforbrug i hver sektor. Et energibehov kan oftest forsynes af forskellige typer energi. Eksempelvis kan husholdningers behov for opvarmning forsynes af eldrevne varmepumper, fjernvarme eller opgraderet biogas. Ligeledes kan flytransportens forventede behov for jet fuel (flybrændstof) forsynes ved hjælp af elektrobrændstoffer produceret af CO₂ og brint, fra biobrændstoffer, der produceres af biomasse, eventuelt kombineret med brint, eller via fossile brændstoffer, hvor udledning fra forbrændingen da skal kompenseres via negative udledninger.

I analysen bestemmes typen af energi, der dækker energiforbrugene, på baggrund af flere forhold, herunder blandt andet:

- Teknologisk mulighed, herunder især om direkte elektrificering forventes mulig eller ej
- Tilgængeligheden af de enkelte energikilder og ressourcer, fx den forventede tilgængelighed af grønne gasser, biomasse og strøm fra vedvarende energikilder
- Økonomi
- Tilgængelighed af infrastruktur til at transportere og lagre forskellige energityper.

I alle analysens scenarier dækkes energiforbruget i alle sektorer af ikke-fossile energikilder på nær i affaldssektoren, hvor afbrænding af importerede varer, der er baseret på fossile energikilder, forsat kan lede til afbrænding af fossil energi. Fossil energi vil også kunne anvendes i andre sektorer, men udledningerne herfra vil da skulle kompenseres af negative udledninger. Denne mulighed er ikke anvendt i analysens scenarier.

Direkte elektrificering antages i udpræget grad at imødekomme energiforbruget i det omfang det forventes teknologisk muligt i 2050. Argumentet herfor er dels, at direkte elektrificering i mange tilfælde forventes at være eller blive billigere end brugen af bio- og elektrobrændstoffer og dels, at knaphed på kulstof vil resultere i en prioritering af kulstoffrie energikilder, herunder direkte elektrificering.

Klimarådet.

Fordelingen af energikilderne til produktion af el og fjernvarme følger som nævnt fordelingen i Energistyrelsens AF23.

Primære energiinput til modellen er elektricitet fra vedvarende kilder som vind og sol, bioenergi samt eventuelt fossile energikilder. Bioenergiproduktion bliver beregnet i BioRes.

Energiprodukter som fjernvarme og ikke-fossil ledningsgas og brændstoffer produceres ved hjælp af andre energiprodukter som elektricitet eller bioenergi. Elektricitet kan udover produktion fra vind og sol også produceres på termiske værker, der bruger bioenergi eller power-to-X-brændsler. Fjernvarme kan blandt andet produceres via store varmepumper, der forbruger elektricitet, eller på termiske værker, der forbruger træbiomasse.

Scenariевærktøjet opgør forskellen mellem energiforbrug og -produktion i et givent scenarie. For nogle energityper behøver forbrug og produktion ikke at matche, da energiproduktet kan eksporteres eller importeres. Det gør sig fx gældende for elektricitet og brint. Dermed vil en produktion, der er højere end forbruget, opgøres som et produktionsoverskud med potentiale for eksport, hvorimod den modsatte situation vil opgøres som import.

Scenariевærktøjet opgør drivhusgasudledninger fra alle sektorer

Scenariевærktøjet opgør de samlede drivhusgasudledninger for et givent scenarie. Værktøjet beregner udledninger fra energiforbrug og procesemissioner, opgør CO₂-fangst, -lagring eller -anvendelse, samt inkluderer udledninger fra mindre udledningskilder som kompostering af affald og spildevand. Desuden samler scenariевærktøjet udledninger fra skov, landbrug og arealanvendelse, som beregnes i BioRes-modellen.

2.2 BioRes model for skov, landbrug og arealer

DK-BioRes 2.0 (herefter BioRes) er et excelværktøj, der oprindeligt er udviklet af Energy Modelling Lab for Energistyrelsen i 2021. BioRes er derefter blevet opdateret og videreudviklet af Energy Modelling Lab i samarbejde med Klimarådets sekretariat i 2024. Forskere fra Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) og Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA) ved Aarhus Universitet samt fra Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN) ved Københavns Universitet har tillige ydet konsulentbidrag til videreudviklingen af BioRes.¹

BioRes opgør mængden af bioressourcer fra skovbrug, landbrug og arealer

BioRes tager udgangspunkt i 2020 og indeholder en repræsentation af Danmarks landbrug, skovbrug og arealanvendelse i dette år. BioRes opgør produktionen af biogene produkter, fx fødevarer, foder og biomasse til materialer, energi og kulstoflagring.

Landbruget producerer fødevarer, foder og forskellige biomasser. Ud fra landbrugsarealet og afgrødefordelingen beregner BioRes den danske produktion af afgrøder og restprodukter, fx halm. Ud fra antallet af husdyr beregnes foderforbruget, og om der er behov for import af foder.

Danskernes forbrug af fødevarer opgøres ud fra befolkningstal og undersøgelser af kostsammensætningen. Økonomi, herunder omkostninger, indgår ikke. Ud fra produktionen og danskernes forbrug beregnes om der er en over- eller underproduktion af de forskellige varer. Overskydende produktion kan potentielt eksporteres. Hvis der er underproduktion svarer det til, at der er en nettoimport af varen.

BioRes opgør produktion af gavntræ og træ til energi fra skovbruget. Dette sker ud fra data for arealet af produktionsskov, tidsforløbet for skovrejsning og anvendte skovtyper. Derudover kan en del af naturarealet høstes og biomassen herfra anvendes til foder eller energiformål.

Bioressourcer kan i modellen bruges til produktion af biogas og til pyrolyse. Modellen opgør produktionen af biogas og pyrolyseprodukter på baggrund af data for det anvendte input. Output fra BioRes til Scenariевærktøjet er i form af produceret biogas, som dernæst opgraderes i Scenariевærktøjet, samt produceret pyrolyseolie og -gas. Energiforbruget til pyrolyseprocessen og den efterfølgende viderebehandling af pyrolyseprodukterne beregnes i Scenariевærktøjet.

Klimarådet.

BioRes opgør udledninger fra landbrug, skov og arealer

BioRes beregner drivhusgasudledning fra Danmarks landbrug, skovbrug og arealsektor. Det drejer sig om udledningerne fra kategorierne 3 (landbrug) og 4 (LULUCF) i det fælles indrapporteringsformat under FN's klimakonvention.

Arealanvendelsen påvirker indholdet af drivhusgasser i atmosfæren. Skovrejsning medfører fx øget lagring af CO₂ i skovene og dermed negative udledninger, og vådlægning af kulstofrige landbrugsjorder mindsker udledningerne fra dyrkede marker.

BioRes beregner udledningerne fra husdyrs fordøjelse ud fra antallet af husdyr og eventuel brug af fodertilsætningsstoffer. Modellen beregner udledningerne fra gødningshåndtering ud fra antallet af husdyr og ud fra hvor stor en del af gødningen, der udsluses hurtigt fra stalden og bioafgasses.

Endelig beregner modellen lagringseffekten af nedpløjet biokul fra pyrolyse.

BioRes belyser systemsammenhænge mellem arealer, bioressourcer og udledninger

Der er i BioRes defineret en række omstillingslementer, det vil sige tekniske eller adfærdsmæssige ændringer i produktion og forbrug, der bidrager til at nå et klimamål. Eksempler på omstillingslementer er skovrejsning, vådlægning af kulstofrige jorder, fodertilsætning til kvæg og produktion af biogas eller biokul.

På baggrund af brugerens valg af omstillingslementer i scenarier vil modellen vise konsekvenserne på følgende punkter:

- Udledninger fra landbrug- og LULUCF
- Produktion af biomasse, biogas og pyrolyseprodukter til energiformål
- Produktion og forbrug af fødevarer og foder.

BioRes kan dermed bruges til at analysere systemsammenhænge mellem arealanvendelse, bioressourcer og udledninger. Det beregnede bioenergipotential og drivhusgasudledninger, som beregnes i BioRes, leveres til Scenarieværktøjet, som anvender biomassen til forskellige energiformål, herunder brændstoffer, og lagrer kulstof nok til at nå fastsatte klimamål.

Tabel 2.1 giver en oversigt over de forskellige sektorer, som er med i Scenarieværktøjet og i BioRes, og hvor de respektive udledninger beregnes. BioRes, samt beregninger og baggrundsparemetre, beskrives nærmere i *Baggrundsnotat 2*.²

Klimarådet.

Tabel 2.1 Sektorer i modelværktøjerne

Sektorer	Udledningskilder og optag	Modelværktøj
Landbrug	Landbrug, herunder dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering og gødskning af marker	BioRes
Arealanvendelse	Dyrkede marker, græsarealer, vådområder samt lavbundsjord	BioRes
Skov	Udledninger og optag fra skove herunder høstede træprodukter og kulstofrige jorde i skov	BioRes
Pyrolyse	CO ₂ -optag ved lagring af biokul i jorden	BioRes
Bygninger og serviceerhverv	Energi til individuel opvarmning, intern transport samt forskellige processer i bygninger og serviceerhverv	Scenariевærktøj
Transport	Brændstoffer i vejtransport, skibs- og luftfart samt togtrafikken	Scenariевærktøj
Industri	Brændsler til industriprocesser, opvarmning og intern transport samt procesudledninger	Scenariевærktøj
El og fjernvarme	Brændsler til energiproduktion, herunder affaldsforbrænding	Scenariевærktøj
Brændstofproduktion	Energi til brændstofproduktion, herunder pyrolyse. I sektoren opgøres også anvendelsen af CO ₂ til produktion af elektrobrændstoffer.	Scenariевærktøj
Affald	Affaldshåndtering ud over forbrænding og metantab fra biogasanlæg mv.	Scenariевærktøj
CCS, CCU og negative udledninger	Brændsler til fangst af CO ₂ fra atmosfæren. I sektoren opgøres de fossile og biogene udledninger fra el, fjernvarme, industri, biogasopgradering, brændstofproduktion og DAC, der fanges og dernæst lagres eller anvendes.	Scenariевærktøj

Kilde: Klimarådet.

2.3 Modelværktøjernes resultater

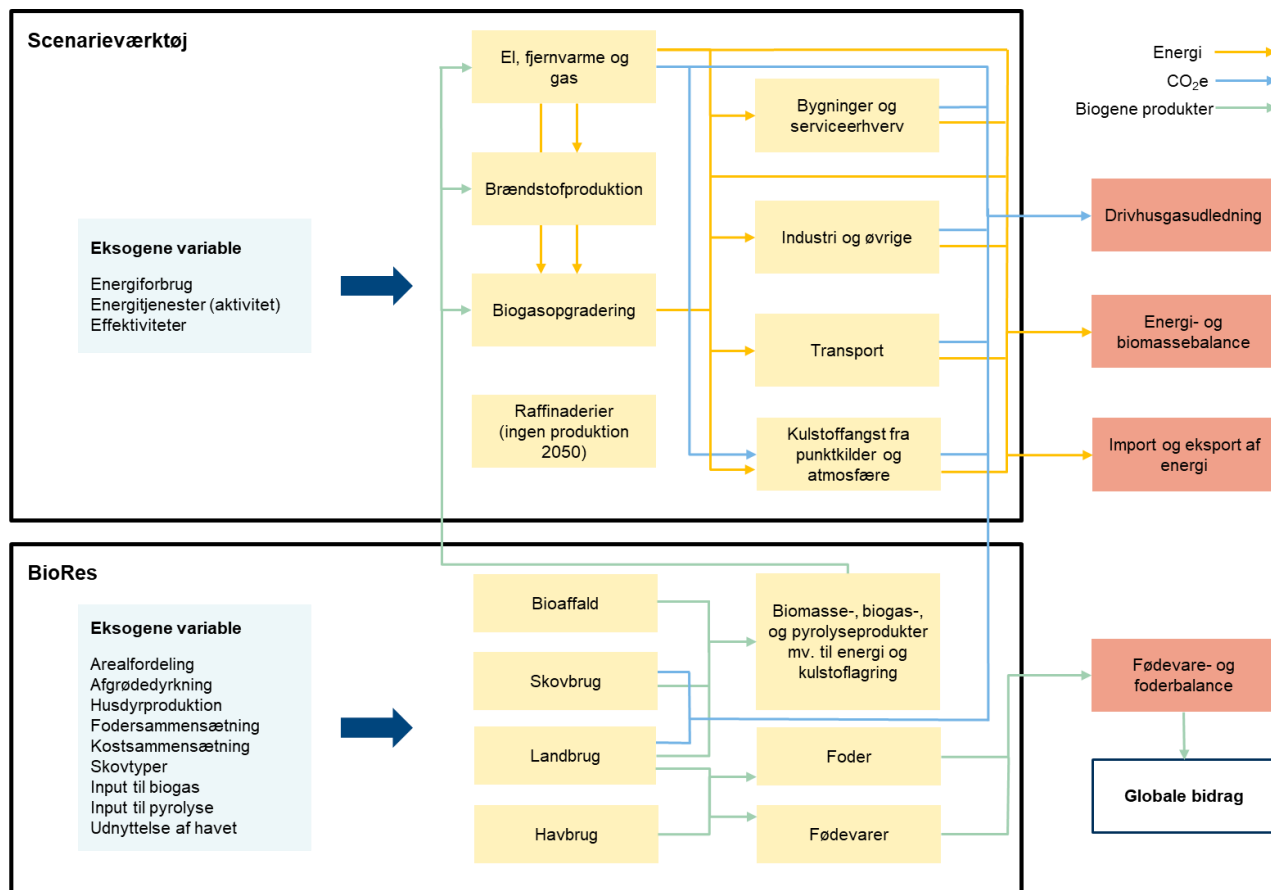
Tilsammen belyser modelværktøjerne scenariernes konsekvenser på fire centrale områder:

- National drivhusgasudledning fordelt på kategorier:** De nationale udledninger opgøres jf. CRF-standarden og er dermed sammenlignelige med de nationale emissionsopgørelser fra Energistyrelsen og DCE ved Aarhus Universitet. De inkluderer udledninger inden for Danmarks territoriale grænser, men ikke udledninger i udlandet fra importerede varer og international transport.
- En national balance for produktion og forbrug af energi og bioenergi.** Forbrug og produktion af energi fx el, fjernvarme, ledningsgas opgøres på årsbasis. Nogle energiprodukter antages at kunne importeres og eksporteres, og i disse tilfælde behøver forbrug og produktion ikke at gå op. Det gør sig eksempelvis gældende for el og brint. I andre tilfælde balanceres produktion og forbrug. Det gælder fx for biobrændsler og biobrændstoffer i de fleste scenarier.
- Mængde og type af brændstoffer til international transport.** Scenariевærktøjet inkluderer forbrug og produktion af brændstoffer til international transport. Produktion af brændstoffer har et forbrug af forskellige energiprodukter og CO₂, alt afhængigt af hvilke processer, der bruges. Det vil sige, at brændstofproduktion til international transport har et ressourcetræk, herunder eventuelt et forbrug af CO₂, der alternativt kunne have været lagret og skabt nationale reduktioner. Selve CO₂-udledningen fra international transport regnes ikke med i den samlede nationale CO₂-opgørelse, jf. CRF-standarten.
- En national balance for produktion og forbrug af fødevarer og foder.** BioRes beregner dansk landbrugs produktion af fødevarer og foder og dansk forbrug af de samme varer. Mængderne opgøres per år. Forbruget af fødevarer, som ikke produceres i Danmark, fx ris, indgår ikke i beregningen. Modelværktøjet

Klimarådet.

holder styr på arealforbruget og ændringer i arealanvendelsen. Hvis der fx rejses skov eller dyrkes energiafgrøder, vil der være et mindre areal til foder- og fødevarerproduktion og dermed, alt andet lige, et mindre produktionsoverskud af foder eller fødevarer. Produktionsoverskuddet opgøres i energi, protein og evt. globalt areal.

Det nærmere samspil mellem BioRes og Scenarieværktøjet er illustreret i figur 2.3.



Figur 2.3 Samspillet mellem Scenarieværktøjet og BioRes

Anm.: Figuren illustrerer kun de større sammenhænge mellem sektorer og viser ikke alle samtlige sammenhænge med fx mindre væsentlige udvekslinger af energi eller CO₂e.

Kilde: Klimarådet.

Modellerne er en forenklet repræsentation af virkeligheden

De anvendte modeller, og dermed scenarier, er forenkede repræsentationer af virkeligheden. For at kunne beregne scenarier for alle Danmarks drivhusgasudledninger og samtidig holde styr på forbrug og produktion af fødevarer, foder, energi, biomasse, brændsler mm., er det nødvendigt at gøre sig nogle forenkede antagelser om den verden, vi lever i. Dette er gjort for at kunne undersøge forskellige sammenhænge i samfundet.

Modellerne indeholder ikke omkostninger, priser og indtægter, men fokuserer alene på fysiske, tekniske og adfærdsmæssige forhold og potentialer.

Modellerne indeholder en række drivhusgas- og systemeffekter og ressourcetræk, som er baseret på bedste viden. Der er samtidig bevidst lavet en række forsimplinger for at blive i stand til at få så mange sektorer, ressourcer og systemsammenhænge med. Resultaterne skal derfor betragtes som indikative skøn. For skov, landbrug og arealanvendelse er usikkerheder og forenklinger beskrevet nærmere i *Baggrundsnotat 2*.

2.4 Grundantagelser for landbrug, skovbrug og arealanvendelse

Modelværktøjerne indeholder en række vigtige grundantagelser, der er gennemgående i alle rapportens scenarier. I dette afsnit beskrives nogle af disse. Yderligere grundantagelser beskrives i *Baggrundsnotat 2*.³ Centrale grundantagelser for landbrug, skovbrug og arealanvendelse er:

- **Udbyttestigning for afgrøder.** Der antages en udbyttestigning for alle afgrøder på 19,5 pct. frem til 2050. Den generelle udbyttestigning for afgrøder betyder, at der pr. hektar er en større produktion af foder, biomasse og plantebaserede fødevarer på det danske areal i 2050 end i 2020.
- **Animalsk produktion.** Den animalske produktion indeholder tre typer husdyr: kvæg, svin og fjerkræ. Der er ikke antaget en grundlæggende effektiviseringstrend for den animalske produktion. Husdyrenes udledning, tilvækst og foderindtag før omstillingselementer er som i 2020.
- **Natur.** Naturarealet udgøres af urørt skov, græsarealer, vådområder samt andele af andre arealkategorier.
- **Økologi.** Andelen af økologi følger KF23 frem mod 2035 og holdes derefter konstant.

Udbyttestigningen for afgrøder er en central antagelse

Afgrødeudbyttet i landbruget antages at stige med 19,5 pct. fra 2020 til 2050.⁴ Det svarer til udbyttestigningen i de baggrundsrapporter, der ligger til grund for Bioøkonomipanelets anbefalinger.⁵ Udbyttestigningen kræver, at planterne får tilstrækkeligt med kvælstof. Det antages derfor, at kvælstofnormerne også stiger, men mindre end den generelle udbyttestigning, da det samtidig antages, at tabet af kvælstof kan mindskes. Det antages derfor, at kvælstofnormerne generelt stiger med 75 pct. af udbyttestigningen.⁶

Den antagne udbyttestigning for afgrøder er central for analysen, da den har stor betydning for Danmarks produktion af fødevarer og foder i 2050 og dermed også for Danmarks ressourcebidrag til omverdenen. Det er en antagelse, der hviler på fagfolks vurdering af, at den hidtidige udviklingstendens for afgrødeudbyttet vil kunne fortsætte til 2050. En fortsat forædlingsindsats, et varmere klima, en længere vækstsæson og et højere CO₂-indhold i atmosfæren vil medvirke til et højere høstudbytte. Der er dog også faktorer, der trækker den anden vej: For det første, vil klimaforandringer kunne medføre hyppigere perioder med for lidt eller for meget regn og øge risikoen for angreb fra skadedyr. For det andet, er der usikkerhed om de fremtidige kvælstofnormer, der er en forudsætning for et øget udbytte. Den generelle udbyttestigning er derfor en usikker antagelse.

Der antages ikke en effektivisering af den animalske produktion

BioRes indeholder landbrugets dyrehold af svin, kvæg og fjerkræ fordelt på konventionel og økologisk drift. Husdyrene er et gennemsnit af underkategorier og skal betragtes som gennemsnitlige dyr. Modellen inkluderer ikke udledninger fra øvrige dyr som får, lam, geder og heste. Udledninger fra disse dyr holdes konstant på 2020-niveau og medregnes i den samlede opgørelse af Danmarks udledninger i Scenarieværktøjet.

Modellen indregner ikke en produktivitetstigning i den animalske produktion. Der foregår i praksis en produktivitetstigning, som blandt andet kommer til udtryk i en årlig stigning i mælkeydelse pr. malkeko, antal smågrise pr. år pr. so og et formindsket foderforbrug pr. kg. kød eller mælk. Produktivitetstigningen har betydning for udledningerne fra den animalske produktion.

Når der alligevel ikke indregnes en produktivitetstigning frem til 2050 i denne analyse, skyldes det, at det er usikkert, om den nuværende stigningstakt vil kunne fortsætte, eller om den vil blive bremset af dyreetiske eller andre forhold. Derudover har produktivitetstigningen på nogle punkter modsatte effekter, der delvist ophæver hinanden. For eksempel forventes udledningen pr. malkeko at stige på grund af øget mælkeydelse, som følge af genetisk forædling og øget foderindtag. Af samme årsag forventes antallet af malkekøer at falde, da der skal færre køer til at producere samme mængde mælk.⁷ Udledningen fra malkekvæg før omstillingselementer, fx fodertilsætning, antages derfor at forblive på samme niveau.

Klimarådet.

Naturarealet defineres som andele af andre arealkategorier

BioRes' arealkategorier følger Danmarks drivhusgasopgørelse.⁸ Det betyder, at der ikke er en særskilt arealkategori for natur. Naturarealet opgøres i stedet som andele af andre arealkategorier. BioRes modellen er ikke en geografisk specifik model, så arealer til natur fastsættes således kun overordnet ved hjælp af procentandele.

Naturareal vil her sige, at arealet ikke drives erhvervsmæssigt som landbrug eller skovbrug, og at det heller ikke benyttes til byer eller infrastruktur. Arealkategorierne *urørt skov*, *vådområder* og *græsarealer* antages derfor i scenarierne for at være natur. Det samme gør andele af andre arealkategorier jf. tabel 2.2.

Det antages, at urørt skov ikke fældes efter den hugst, som sker ved overgangen til, at skoven lægges urørt, og at græsarealer ikke pløjes op. Der kan dog tages slæt på naturarealerne i scenarierne, som et omstillingselement. I hovedscenarierne antages 15 pct. af visse naturarealer således at blive høstet. Denne høst antages at være foreneligt med udlægning af arealet til natur og biodiversitet.

Tabel 2.2 Andele af arealkategorier, der medregnes som natur

Arealkategorier i BioRes	Areal i 2020 (ha)	Naturandel i scenarierne (pct.)
Bebyggelse & infrastruktur	539.100	0
Landbrugsafgrøder	2.619.987	0
Andet landbrugsareal	181.913	60
Produktionsskov	614.425	10
Urørt skov	26.875	100
Græsarealer	168.900	100
Vådområder	68.800	100
Søer	59.100	85
Andet	26.500	90
Total	4.305.600	

Anm.: *Naturandel i scenarierne (pct.)* er den andel af arealkategorien, som i scenarierne antages at være natur, og som derfor indgår i opfyldelsen af rammebetingelsen om 30 pct. natur.

Kilde: Klimarådet.

Som det fremgår af tabel 2.2 medregnes alle vådområder, herunder vådlagte landbrugsarealer som natur. Dette er ikke nødvendigvis i overensstemmelse med Biodiversitetsrådet forslag til, hvor der skal udlægges natur. Det centrale i denne sammenhæng er dog, at der er sat nok plads af til at rammebetingelsen om 30 pct. natur er opfyldt.

Økologi er ikke analyseret nærmere

En nærmere vurdering af udviklingen for økologi har ligget udenfor rammerne af analysen. Derfor antages forsimplet at den andel af afgrøde- og husdyrproduktionen, der er økologisk, følger Energistyrelsens *Klimastatus og -fremskrivning 2023* frem til 2035. Derefter holdes andelen konstant på grund af usikkerhed om udviklingen.

Arealantagelser følger Klimarådets analyse om Danmarks fremtidige arealer

I regeringsgrundlaget fra 2022 peger regeringen på, at den ønsker 250.000 ha skov rejst.⁹ I trepartens *Aftale om et Grønt Danmark* fra 24. juni 2024 er ambitionen, at der skal være rejst 250.000 hektar ny skov i 2045. Ambitionen inkluderer at der rejses 80.00 hektar privat urørt skov som supplement til de 75.000 hektar, det er besluttet at lægge urørt i statens skove.^{10, 11}

Klimarådet.

I Klimarådets analyse *Danmarks fremtidige arealanvendelse* indgik det i nogle scenarier, at der rejses 250.000 hektar til produktionsskov i 2050 og i andre, at der rejses 500.000 hektar. I denne analyse antages det i Kendt Omstilling og i Ny Teknologi-scenarierne, at der er rejst produktionsskov på 250.000 hektar i 2100. I Ny Hverdag 100 rejses der derimod 250.000 hektar produktionsskov i 2050, mens der i Ny Hverdag 110 rejses 500.000 hektar. Udover produktionsskov afsættes der arealer til ny urørt skov.

Hovedscenariernes areal til natur og biodiversitet i 2050 er fastlagt med udgangspunkt i scenariet for biodiversitet og vandmiljø i analysen *Danmarks fremtidige arealanvendelse*. Det indebærer blandt andet, at der i alle hovedscenarier udlægges 160.000 hektar af den eksisterende produktionsskov til urørt skov i 2050. Derudover udtages omkring 600.000 hektar dyrket landbrugsjord dels til vedvarende græsarealer og dels til ny urørt skov. Tabel 2.3 sammenstiller arealudtag i *Danmarks klimamål i 2050* med *Danmarks fremtidige arealanvendelse*.

Tabel 2.3 Sammenstilling af udtag af arealer i Danmarks fremtidige arealanvendelse og Klimamål 2050

		Danmarks fremtidige arealanvendelse		Klimamål 2050	
		Biodiversitets- og vandmiljøscenarie	Ny Hverdag 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 100/110
Landbrugsareal taget ud til natur og skovrejsning	hektar	765.000	862.000	1.087.000	715.000
Ny produktionsskov på landbrugsareal	hektar	250.000	247.000	497.000	81.000
Produktionsskov omlagt til urørt skov	hektar	167.000	160.000	160.000	160.000
Ændring i landbrugsareal	pct.	-33	-31	-39	-26
Areal til natur	pct.	30	30	30	30

Anm. 1: Landbrugsarealet er større i *Danmarks Klimamål i 2050* (2,8 mio. hektar) end i *Danmarks fremtidige arealanvendelse* (2,3 mio. hektar). Det skyldes forskellige arealkategoriseringer. Det udtagne landbrugsareal ser større ud i denne analyse, men da landbrugsarealet er forskelligt i de to analyser kan de to tal ikke sammenlignes direkte.

Anm. 2: Ændringen i landbrugsarealet er opgjort eksklusive areal til bebyggelse.

Kilde: Klimarådet.

Analysen indeholder ikke et særskilt fokus på at forbedre vandmiljøet. *Danmarks fremtidige arealanvendelse* viste, at det er muligt at beskytte 30 pct. af Danmarks arealer, som er udpeget af Biodiversitetsrådet, og samtidig opfylde EU's vandrammedirektiv. BioRes er ikke en arealforvaltningsmodel, og den kan derfor ikke sige noget om geografisk specifikke effekter, men udtag af landbrugsarealer til natur og skov vil alt andet lige have en positiv effekt på vandmiljøet.

2.5 Grundantagelser for energi, industri og øvrige sektorer

I dette afsnit beskrives centrale grundantagelser for energi, industri og øvrige sektorer, der er fælles for alle analysens scenarier. Følgende centrale grundantagelser uddybes i det følgende:

- **Energistyrelsens analyseforudsætninger.** Energistyrelsens *Analyseforudsætninger til Energinet 2023* følges for udbygning af vind-, sol- og elektrolysekapacitet, og fordelingen af varmeproduktion på energikilder anvendes i scenarierne.
- **Olie- og gasudvinding.** Det antages, at Nordsoen og raffinaderierne stopper med produktion og bearbejdning af fossile energikilder. Noget af aktiviteten på raffinaderier overgår til produktion af grønne brændstoffer.

Klimarådet.

Udbygningen af vedvarende energi og regulerbar energiproduktion følger Energistyrelsens analyseforudsætninger

Det er en antagelse, at den nationale produktion af el i alle analysens scenarier i udgangspunktet følger Energistyrelsens *Analyseforudsætninger til Energinet 2023 (AF23)*, både med hensyn til energiproduktionens omfang og med hensyn til fordelingen af elproduktionen på forskellige energikilder. Elproduktion fra kraftvarmeanlæg varierer dog alt efter scenarie, eftersom varmebehovet også varierer i scenarierne. Fjernvarmeproduktionen antages som udgangspunkt at følge AF23 med hensyn til fordeling af varmeproduktion på forskellige energikilder, men omfanget af varmeproduktionen varierer på baggrund af scenariernes varmebehov. Forbruget af biomasse til el- og varmeproduktion er i scenarierne derfor et resultat af det antagede varmebehov i scenarierne, samt antagelsen om at el- og varmeproduktionen i udgangspunktet følger samme fordeling som i AF23.

I analyseforudsætningerne er også indlagt en forventet kapacitet af elektrolyse, som bruges til produktion af brint på baggrund af el. Elektrolysekapaciteten i scenarierne følger ligeledes analyseforudsætningerne.

Analyseforudsætningerne udarbejdes årligt til Energinet og udgør Energistyrelsens analytiske bud på en sandsynlig udvikling af energisystemet i Danmark frem mod 2050, givet at nuværende politiske mål indfris. Modsat den årlige klimastatus og -fremskrivning, der kun indregner udviklingen uden ny politik, tager analyseforudsætningerne udgangspunkt i politiske ambitioner, fx klimalovens 70-procentsmål i 2030 og målet om klimaneutralitet i 2045 fra regeringsgrundlaget.¹²

Analyseforudsætningerne præsenterer et sæt af forudsætninger omkring anlægstyper og kapaciteter i el- og fjernvarmesektoren, herunder regulerbare anlæg, der kan producere energi forholdsvist uafhængigt af vind og vejr. Ved at benytte disse forudsætninger er det plausibelt, at der overordnet set vil være en tilstrækkelig balance mellem produktion og forbrug af el og fjernvarme i Klimarådets scenarier. Scenariernes energibalance er ikke gennemregnet på timebasis, men energiproduktion og -forbrug er afstemt på årsbasis. Scenarieværktøjet inkluderer tilsvarende ikke beregninger af effekttilstrækkelighed, men bygger på Energistyrelsens antagelser om blandt andet behov for biomasse og biogas til el- og fjernvarmeproduktion.

Produktionen af vindenergi, solenergi og brint antages at stige markant frem mod 2050

I AF23 forudsiges, at der vil være op mod 300 TWh elproduktion fra vind og sol til rådighed i 2050 og dertil en mindre elproduktion på lidt under 3 TWh fra regulerbare værker, fx biomassefyrede kraftvarmeverker og affaldsforbrændingsanlæg. Niveaue af regulerbar elproduktion fra blandt andet biomassefyrede kraftvarmeverker kan potentielt reduceres i forhold til niveaue i analyseforudsætningerne. Dette kan blandt andet ske ved, at vindmøller og solceller i kombination med blandt andet transmissionsforbindelser til udlandet, ellagring og fleksibilitet i elforbruget kan dække en større del af elforbruget eller sikre balance mellem forbrug og produktion. I hovedscenarierne udgør elproduktion fra regulerbare værker cirka 2-3 TWh (8-10 PJ).

Dele af den grønne strøm kan alternativt også komme fra andre energikilder i 2050, fx forskellige former for havenergi eller atomkraft. Tilsvarende vil øget anvendelse af fx varmepumper, geotermi eller overskudsvarme potentielt kunne dække en større andel af varmeproduktionen i stedet for kraftvarmeverker og kedler.

Fordelingen mellem disse energikilder har ikke betydning for den nationale drivhusgasudledning, så længe de ikke indebærer en national udledning. Fordelingen mellem energikilderne er dog væsentlig for andre forbrug og målsætninger. Det gælder blandt andet brug af biomasse, arealforbrug og omkostninger forbundet med at nå de to klimamål.

Den store produktion af el fra vind og sol i analyseforudsætninger indebærer, at Danmark vil kunne få et stort produktionsoverskud, som potentielt kan eksporteres til udlandet. I scenarierne varierer elforbruget i Danmark mellem 235 og 260 TWh. Disse værdier er meget afhængige af antagelsen om brintproduktion, som følger AF23. I scenarierne bruges omkring 160 TWh til brintproduktion. Der er stor usikkerhed omkring niveaue for brintproduktion og -forbrug i Danmark og udlandet i 2050. En stor produktion af brint vil forventeligt kun ske, hvis brint efterspørges i udlandet, fx i den tyske industri, og hvis dansproduceret brint kan blive konkurrencedygtigt. I så fald kan et stort produktionsoverskud af brint eksporteres til udlandet som brint eller andre power-to-X-produkter.

Klimarådet.

Størrelsen af dette produktionsoverskud og mulig eksport af el og brint vil have stor betydning for reduktionspotentialer i udlandet og repræsenterer det store potentiale, der ligger i, at Danmark kan udnytte gode vindressourcer til at bidrage med reduktioner uden for landets grænser. Størrelsen af produktionsoverskuddet og den mulige nettoeksport er dog af mindre betydning for de nationale udledninger, som de i dag opgøres i regi af FN og de danske klimamålsætninger. Sker der en mindre udbygning af vindmøller, solceller og elektrolyse end antaget i analyseforudsætningerne, vil dette derfor ikke påvirke mulighederne for at nå de danske klimamål og politiske mål, så længe det danske el- og brintforbrug fortsat kan dækkes.

Olie- og gasudvinding antages at være ophørt i 2050

Det antages i alle scenarier, at Nordsøen og raffinaderierne stopper med produktion og bearbejdning af fossile energikilder inden 2050. Antagelsen svarer omtrentligt til kravet i Undergrundsloven, som sætter en slutdato på baggrund af Nordsøaftalen fra 2020, hvori den daværende regering og et bredt flertal i Folketinget aftalte et stop for produktion af olie og gas senest i 2050.¹³

Eftersom der ikke udvindes kul i Danmark, udgør 2050 dermed slutåret for al udvinding af fossile brændsler i Danmark.

Fortsat forbrug af fossile energikilder i 2050 vil resultere i et importbehov

Slutdatoen for olie- og gasproduktion i Nordsøen indebærer, at eventuel anvendelse af fossile energikilder i Danmark efter 2050 vil skulle importeres fra udlandet.

I analysens scenarier antages alle sektorer på nær affaldsforbrænding at overgå fuldt ud til vedvarende energikilder, hvilket bidrager betydeligt til opfyldelsen af Danmarks klimamål. Såfremt dette ikke sker, vil import af fossile brændsler fortsat være muligt inden for rammerne af vores nuværende klimamål. For at nå 100 pct. reduktion eller nettonegative udledninger, skal udledninger fra brug af fossile brændsler dog i så fald indfanges eller kompenseres via andre tiltag, fx yderligere skovrejsning, BECCS eller DACCS.

Grundet et forventet behov for kulstofholdige brændstoffer er luftfarten en sektor, hvor fortsat anvendelse af fossile brændstoffer drøftes af flere aktører som en mulig og potentielt nødvendig vej.¹⁴ Dette er som alternativ til produktion af bio- og elektrobrændstoffer, men vil kræve en kompensation for udledningerne med fx DACCS eller andre negative udledninger. Afhængig af omkostningerne til DACCS samt el- og biomassepriser kan den mulighed vise sig billigere end at producere bio- og elektrobrændstoffer til hele eller dele af luftfarten.¹⁵ Da udvinding af fossil olie antages at ophøre i 2050, vil denne tilgang dog indebære import af fossil olie eller allerede raffineret jet fuel.

3 Omstillingselementer

Danmarks klimamål i 2050 inkluderer en række omstillingselementer, der repræsenterer fysiske ændringer i forbrug, produktion, teknologier mv. Disse indgår i modelværktøjerne og er så at sige *stilleskruerne* i modellerne. BioRes indeholder omstillingselementer i landbrug, skovbrug og arealanvendelsen, fx vådlægning af kulstofrige jorder og brug af hurtigtvoksende træarter i skovdriften. Scenariевærktøjet indeholder omstillingselementer i de øvrige sektorer, fx energieffektivisering af bygninger og etablering af CCS på kraftvarmeværker.

Scenarierne skal både opfylde antagede behov for energi, transportarbejde og fødevarer og samtidig nå klimamålene. Omstillingselementerne kan bidrage på forskellige måder til at disse to formål kan opfyldes. Skovrejsning kan fx både producere biomasse til energiformål og øge CO₂-optaget i skov. Til gengæld vil det typisk reducere arealet med afgrøder og derfor alt andet lige også reducere fødevarerproduktionen. Brintproduktion kan begrænse behovet for brug af biomasse eller biogent kulstof, hvilket kan frigøre kulstofressourcer til lagring og dermed bidrage til at opfylde klimamål. Endelig bidrager nogle omstillingselementer til negative udledninger, der kan medregnes i klimaregnskabet og bidrage til at opveje tilbageværende udledninger.

Analysen har ikke alle tænkelige tiltag med. De medtagne omstillingselementer skal ses som eksempler på tiltag til at reducere udledningen i de enkelte sektorer. Den opnåede reduktion ville potentielt kunne opnås på andre måder.

Klimarådet.

I det følgende gives en oversigt over de vigtigste omstillingselementer i hver af de to værktøjer. Tabellerne viser, hvilke forskellige formål omstillingselementerne kan bidrage til at opfylde eller eventuelt påvirker negativt.

3.1 Omstillingselementer for skov, landbrug og arealer

For skov, landbrug og arealer kan omstillingselementerne øge produktionen af biogene produkter i form af biomasse, foder eller fødevarer. Nogle omstillingselementer kan reducere udledningen af drivhusgasser. Endelig kan nogle omstillingselementer skabe negative udledninger, dvs. øget optag af CO₂ fra atmosfæren og efterfølgende lagring heraf som kulstof eller som CO₂. Negative udledninger kan opveje andre udledninger, hvorved Danmarks netto-drivhusgasudledning reduceres. Negative udledninger er nødvendige for at nå klimamål over 100 pct.

De omstillingselementer for skov-, landbrug og arealer, som indgår i analysen, fremgår af tabel 3.1 nedenfor. Tabellen viser, om de enkelte omstillingselementer bidrager til henholdsvis produktion af biomasse, produktion af foder eller fødevarer, reduktion af drivhusgasudledninger og/eller negative udledninger.

Klimarådet.

Tablet 3.1 Analysens omstillingselementer for skov-, landbrug og arealer

Omstillingselement	Produktion af biomasse eller bioenergi	Produktion af foder/fødevarer	Reduktion af udledninger	Negative udledninger
Arealomlægning				
Vådlægning af kulstofrige jorder		-	+	
Udtag af landbrugsareal		-	+	+
Landbrug				
Omlægning fra korn til græs	+	-/+	+	+
Efter og -mellemafrøder	+		+	+
Pil på landbrugsjord	+	-	+	+
Øge opsamling af halm	+			-/+
Høst på naturarealer	+			
Nitrifikationshæmmere			+	
Færre husdyr		-/+	+	
Fodring med fedt til kvæg			+	
Fodertilsætning til kvæg			+	
Bioraffinering af græs				
Produktion af græsprøtein	+	+		
Biogas				
Biogas af husdyrgødning	+		+	
Hurtig udslusning af gylle	+		+	
Biogas af andre biomasser	+			
Pyrolyse og biokul				
Pyrolyse og biokul	+		+	+
Skovbrug				
Skovrejsning på landbrugsjord	+	-	+	+
Brug af hurtigvoksende træarter	+		+	+
Eksisterende skov lægges urørt	-		+	+
Havbrug				
Produktion af muslinger		+		
Produktion af tang	+	+		
Fødevarerforbrug og bioaffald				
Præcisionsfermenteret mælk (kunstigt mælk)		+		
Kultiveret kød (kunstigt kød)		+		
Højere andel af plantebaserede fødevarer ¹	+	+	+	
Mindre madspild	-	+		
Øget udsortering af bioaffald	+			

Anm.: Tabellen viser om de enkelte omstillingselementer bidrager til henholdsvis produktion af biomasse, produktion af fødevarer, reduktion af drivhusgasudledning og/eller negative udledninger. "+" betyder, at omstillingselementet har en positiv effekt, "-" at det har en negativ effekt og "+/-" at der kan være både positive og negative effekter. Et blankt felt betyder, at omstillingselementet enten ikke har en effekt, eller at effekten ikke er medregnet.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

3.2 Omstillingselementer i energi, industri og øvrige sektorer

I tabel 3.2 ses en oversigt over de vigtigste omstillingselementer i energisektoren, industri, transport, brændstofproduktion, DAC, bygninger, serviceerhverv og international transport og de formål, de kan bidrage til. Tabellen viser om de enkelte omstillingselementer bidrager til henholdsvis reduktion af drivhusgasudledningerne, reduktion af energiforbrug, reduktion af forbruget af bioressourcer og/eller negative udledninger

Tabel 3.2 Omstillingselementer i energisektoren, industri, transport, bygninger og serviceerhverv

Omstillingselement	Reduktion i udledninger	Reduktion i energiforbrug	Reduktion i forbrug af bioressourcer	Negative udledninger
Bygninger og serviceerhverv				
Udbredelse af ikke-fossil bygningsopvarmning som fjernvarme og varmepumper	+	+	+	
Reduceret vækst af opvarmet bygningsareal	+	+	+	
Energieffektivisering af bygningsmassen	+	+	+	
Elektrificering af processer i serviceerhverv	+	+	+	
El og fjernvarme				
Udbygning med vedvarende energi (VE)	+	+	+	
Reduktion i bioenergi i el- og fjernvarmeproduktion ved øget VE, elektrificering, energilagre, eltransmission m.fl.			+	
CCS på punktkilder	+	-	-	+
Øgning af driftstid for at øge CCS		-	-	+
Udnyttelse af overskudsvarme på tværs af flere sektorer		+	+	
Industri				
Elektrificering af processer og intern transport	+	+	+	
Udbredelse af ikke-fossil bygningsopvarmning som fjernvarme og varmepumper	+	+	+	
Bio- og elektrobrændstoffer, herunder biogas og pyrolyseprodukter	+			
CCS på industriens udledninger	+	-	-	+
Energieffektivisering	+	+	+	
Reduceret cementproduktion	+	+	+	

Klimarådet.

Tabel 3.2 fortsat

Omstillingselement	Reduktion i udledninger	Reduktion i energiforbrug	Reduktion i forbrug af bioressourcer	Negative udledninger
Transport				
Elektrificering af vej-, skibs- og lufttransport	+	+	+	
Kulstoffrie brændstoffer (brint og ammoniak)	+	-	+	
Kulstofholdige brændstoffer (biogent kulstof) i indenrigs skibs- og luftfart	+			
Reduceret vækst i transportbehov	+	+	+	
Modalt skift til offentlig transport	+			
Energieffektivisering	+	+	+	
Brændstofproduktion				
Produktion af bio- og elektrobrændstoffer	+			
Reduktion i metanlækage fra biogasanlæg	+			
Direct Air Capture *				
Etablering af DAC og efterfølgende lagring (DACCS) eller anvendelse af CO ₂ (DACCU)		-	+	+
International transport				
Skift til ammoniak i skibsfart	+ **		+	
Skift til brændstoffer med biogent kulstof	+ **			+
Skift til e- eller biojetfuel i luftfart	+ **			
Reduceret transportbehov	+ **	+	+	

Anm. 1: Tabellen viser om de enkelte omstillingselementer bidrager til henholdsvis reduktion af drivhusgasudledningerne, reduktion af energiforbrug, reduktion af forbruget af bioressourcer og/eller negative udledninger. "+" betyder, at omstillingselementet har en positiv effekt i forhold til formålet, "-" at det i sig selv har en negativ effekt og "+/-" at der kan være både positive og negative effekter. Et blankt felt betyder, at omstillingselementet enten ikke har en effekt, eller at effekten ikke er medregnet.

Anm. 2: * DAC eller tilsvarende ikke-biologisk baserede negative udledninger, fx kulstoffangst fra havvand (Direct Ocean Capture). Biologisk baserede løsninger som skov, pyrolyse og BECCS er angivet i energisektoren eller i afsnit 3.1 vedrørende omstillingselementer i BioRes-modellen.

Anm. 3: ** Reduktion i udledningerne fra international transport, som ikke indgår i Danmarks gældende klimamål.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

4 Kendt Omstilling

Omstillingselementerne i analysens scenarier opdeles i:

- **Kendte omstillingselementer** er tiltag, der allerede anvendes i dag, tiltag der repræsenterer en fortsættelse af en igangværende omstilling eller tiltag, der i overvejende grad er klar til implementering i dag eller de kommende år.
- **Nye omstillingselementer** vil enten 1) kræve teknologisk udvikling, eller 2) indeholde markante ændringer i adfærd, arealanvendelse og produktion, eller 3) på anden måde have betydelige implementeringsudfordringer.

Mange kendte omstillingselementer indgår i Energistyrelsens *Klimastatus og -fremskrivning* (KF23), men i Kendt Omstilling kan de bruges i større omfang end i fremskrivningen. Dette afsnit beskriver de kendte omstillingselementer, først for arealer, landbrug og skov og dernæst for energi, industri mv.

Kendt Omstilling når i analysen en reduktion på 90 pct. i 2050 i forhold til udledningerne i 1990. Den præcise pct.-sats er afhængig af kategoriseringen af omstillingselementer som henholdsvis kendte eller nye. I analysen favner kategorien kendte omstillingselementer forholdsvist bredt og inkluderer også tiltag, der ikke nødvendigvis er fuldt ud klar til implementering i dag, men forventes at blive det de kommende år.

Nye omstillingselementer indeholder de omstillingselementer, der i betydelig grad kræver teknologisk udvikling, indbærer markante ændringer i adfærd, arealanvendelse eller produktion eller vurderes at have betydelige implementeringsudfordringer.

4.1 Kendt omstilling af skov, landbrug og arealer

Arealfordeling

Arealanvendelsen i Kendt Omstilling følger i høj grad KF23 frem til 2035. Derefter udlægges mere skov og udtages flere hektar kulstofrige jorder, men derefter udlægges ikke mere areal til natur, end der er truffet beslutning om i dag.

Skov

Det antages, at der i 2100 er rejst produktionsskov på 250.000 hektar. Baggrunden herfor er regeringsgrundlaget fra december 2022, der annoncerede et mål om 250.000 hektar ny skov i Danmark uden nærmere tidsangivelse. Skovrejsningen følger KF23 frem til 2035, hvor der er rejst godt 30.000 hektar skov. Derefter går skovrejsningen i stå i KF23, men den fortsætter i Kendt Omstilling indtil 2050, hvor der er rejst i alt 83.500 hektar siden 2020. Den nye produktionsskov rejses lineært. Der bliver således rejst 3.125 hektar ny produktionsskov hvert år.

Urørt skov

Det antages, at der frem til 2050 opnås i alt 75.000 hektar urørt skov jf. beslutning om at lægge dette areal urørt i statens skove.¹⁶

Kulstofrige jorder

I Kendt Omstilling antages det, at 70 pct. af de 127.000 hektar kulstofrige jorder, som var marker eller græsarealer i 2020, er vådlagte i 2050.¹⁷ De 70 pct. er et skøn for, hvor mange det er realistisk at udtage. Der er dermed vådlagt i alt 90.000 hektar kulstofrige jorder i 2050. Denne antagelse videreføres uændret i alle hovedscenarier.

Areal til natur

Idet urørt skov, vådlagte kulstofholdige jorder og græsarealer antages at være natur, vokser naturarealet i Kendt Omstilling med cirka 80.000 hektar i forhold til i dag og udgør 14 pct. af Danmarks areal i 2050.

Klimarådet.

Areal til bebyggelse

Der antages et stigende areal til bebyggelse og infrastruktur. I 2050 svarer stigningen i arealet til bebyggelse og infrastruktur (40.000 hektar) omtrent til den stigning, der i KF23 forventes frem til 2035 i denne arealtype. I tillæg hertil afsættes 44.000 hektar til solceller på baggrund af regeringens ambition om at firedoble elproduktionen fra vedvarende energi på land i 2030.^{18, 19} Alle scenarier antager denne stigning i arealet til bebyggelse og infrastruktur.

Landbrug

Husdyr og afgrøder

I Kendt Omstilling forbliver landbrugsproduktionen nogenlunde uændret i forhold til 2020. Der antages samme animalske produktion som i 2020, og afgrødefordelingen er den samme på markerne. Der opsamles samme andel af halmen som i 2020. Efterafgrødearealet følger KF24, da der for efterafgrøder er sket væsentlige ændringer fra KF23 til KF24.

Fodertilsætning

Der antages en stigende anvendelse af fedt i foder og bovaer til malkekvæg. I 2050 antages det, at 29 pct. af konventionelt kvæg får en øget andel af fedt i foder og 29 pct. får bovaer.

Biogas

Kendt Omstilling antager cirka 50 PJ biogasproduktion, det vil sige den samme som i KF23. Biomasser til biogas er husdyrgødning, bioaffald, halm, energiafgrøder og importerede biomasser.

Husdyrgødning

Kendt Omstilling antager, at 90 pct. af al husdyrgødning fra stalde kan sendes til biogas i 2050. Desuden antages, at al gylle, der går til biogas, udsluses hurtigt fra staldene. Det antages således, at alle stalde, der leverer til biogas, vil være i stand til at udsluse gylle hurtigt i 2050. Begge disse antagelser går videre end KF23 og er relativt optimistiske. De videreføres uændret i alle hovedscenarier.

Pyrolyse

Biomasser

Det antages, at 40 pct. af spildevandsslammet fra rensningsanlæg pyrolyseres til biokul i 2050. Det svarer til den andel, der i dag spredes ud på landbrugsjord.²⁰ Denne antagelse videreføres uændret i alle hovedscenarier.

Det antages desuden, at en fjerdedel af den afgassede biomasse fra biogasanlæg pyrolyseres til biokul i 2050. Desuden anvendes 224.000 ton halm til pyrolyse.

4.2 Kendt omstilling i energi, industri og øvrige sektorer

I dette afsnit beskrives centrale, kendte omstillingselementer og den generelle udvikling, der indgår i analysens scenarie Kendt Omstilling i 2050 for sektorerne energi, industri, bygninger og serviceerhverv og transport. Beskrivelsen er ikke udtømmende, men fokuserer på de mest centrale omstillingselementer.

Foruden de beskrevne omstillingselementer, antages en udbygning af central energiinfrastruktur, der er nødvendig for at realisere omstillingen i Kendt Omstilling såvel som i analysens scenarier, der når 100 og 110 pct. reduktion. Behovet for udbygning af central energiinfrastruktur er beskrevet i *Danmarks klimamål i 2050*.

Klimarådet.

Bygninger og serviceerhverv

Varmekilde

I opvarmningen af danske husholdninger og serviceerhverv antages en fuld omstilling fra gasfyr, oliefyr, pillefyr og brændeovne til varmepumper og fjernvarme. Varmepumper antages at dække 40 pct. af varmemeforbruget, mens fjernvarmen dækker de resterende 60 pct. Dette er en lille udvidelse af fjernvarmen i forhold til i dag.

Opvarmet bygningsareal

Varmeforbruget i bygningerne er et resultat dels af det opvarmede bygningsareal og dels af energiforbruget pr. areal. I Kendt Omstilling antages en fortsat vækst i det opvarmede bygningsareal svarende til den gennemsnitlige årlige vækstrate, som antages i KF23 fra 2010 til 2035. For husholdninger øges det opvarmede areal fra omkring 370 mio. m² i dag til 420 mio. m² i 2050. En tilsvarende procentuel stigning antages for det opvarmede bygningsareal i serviceerhvervet.

Det antages, at cirka 90 pct. af eksisterende bygninger i dag også vil eksistere i 2050.

Varmeforbrug

I Kendt Omstilling antages eksisterende husholdninger at blive energirenoveret, så enhedsforbruget i 2050 reduceres til 100 kWh pr. m² pr. år inklusiv reboundeffekter mv. Tilsvarende procentuel reduktion i varmemeforbrug antages for offentlig og privat service. Nybyg antages at forbruge 55 kWh pr. m² pr. år både i dag og frem til 2050.

Det resulterende endelige varmemeforbrug i 2050 for alle bygninger er cirka 180 PJ, hvilket svarer omtrent til varmemeforbruget i dag. Energiforbruget til opvarmning pr. m² i bygningerne i 2050 falder i Kendt Omstilling med omkring 11 pct. ift. i dag.

Elektrificering og brændstofsift i serviceerhverv

Det antages, at alle lav- og mellemtemperaturprocesser i serviceerhvervet elektrificeres. 50 pct. af den interne transport i serviceerhvervet omstilles til el, mens den øvrige halvdel fortsat antages at forbruge kulstofholdige brændstoffer.

El og fjernvarme

El- og fjernvarmeproduktion

Som beskrevet i det forudgående antages det, at elproduktionen i alle analysens scenarier som udgangspunkt følger Energistyrelsens *Analyseforudsætninger til Energinet 2023 (AF23)*. Dette følger af, at der i scenarierne antages en udbygning med vindmøller og solceller tilsvarende AF23. Dertil følger fjernvarmeproduktionen fra kraftvarmeverker, der også producerer strøm, også AF23 med hensyn til fordeling af varmeproduktion på forskellige energikilder. Elproduktion fra kraftvarmeverkerne antages at afhænge primært af varmeproduktionen på værkerne.

Fordelingen af fjernvarmeproduktion på energikilder følger AF23 undtagen for affaldsforbrændingsanlæg, hvis varmeproduktion afhænger af mængden af affald i scenarierne. Den producerede varmemængde varierer dog i scenarierne som resultat af antagelserne for varmemeforbruget i de fjernvarmetilsluttede bygninger i de enkelte scenarier.

Der antages en fuld omstilling væk fra fossile brændsler i el- og fjernvarmeverker, hvilket indebærer, at al el- og fjernvarmeproduktion sker på vedvarende energi på nær affaldsforbrænding, hvori eventuelle fossile affaldsfraktioner, der importeres til Danmark, fortsat afbrændes.

Elektrolysekapacitet

I AF23 er indlagt en forventet kapacitet af elektrolyse, som bruges til produktion af brint på baggrund af el. Elektrolysekapaciteten i scenarierne følger AF23. Denne antagelse har afgørende betydning for det danske elforbrug og potentialet for nettoeksport af grøn strøm og brint til udlandet.

Klimarådet.

Kulstoffangst på energianlæg

Kulstoffangst antages at blive anvendt på store punktkilder eller punktkilder, hvor omkostninger vurderes relativt lave, herunder:

- 100 pct. af udledninger fra biogasopgradering
- 90 pct. af udledninger fra affaldsforbrænding
- 50 pct. af udledninger fra biomassekraftvarme
- 100 pct. af udledninger fra brændstofproduktion

Der antages en fangsteffektivitet på kulstoffangst ved energianlæg på 90 pct., hvilket vurderes muligt for flere fangstteknologier.²¹

Industri

Varmekilde til rumopvarmning

I opvarmningen af industribygninger antages en fuld omstilling til varmepumper og fjernvarme. Varmepumper antages at dække 60 pct. af varmekonsumet, mens fjernvarmen dækker de resterende 40 pct.

Lav-, mellem- og højtemperaturprocesser

Lav- og mellemtemperatur procesvarme i industrien antages at forsynes af 60 pct. el, 35 pct. ledningsgas og 5 pct. fjernvarme. Højtemperatur procesvarme, eksklusiv cementproduktion, i industrien antages forsynet af 40 pct. el, 55 pct. ledningsgas og 5 pct. brint.

Der produceres tilstrækkeligt opgraderet biogas til at dække det danske forbrug af ledningsgas, og derfor også til at dække industriens forbrug af ledningsgas. Brintforbruget forsynes af grøn brint, da brintproduktion på baggrund af elektrolyse drevet af vedvarende energi antages at overstige det danske brintforbrug betydeligt.

Energieffektivisering af industriprocesser

Ud over energieffektivisering som følge af elektrificering, antages 5 pct. energieffektivisering af lav-, mellem- og højtemperaturprocesser i 2050 i forhold til i dag.

Elektrificering og brændstofsift i intern transport

50 pct. af den interne transport i industrien antages omstillet til el, mens den øvrige halvdel fortsat antages at forbruge kulstofholdige brændstoffer. Fortsat anvendelse af brændstoffer gælder især for fiskerflåden samt landbrugsmaskiner.

Kulstoffangst på industrianlæg

Kulstoffangst antages at blive anvendt på 100 pct. af udledningerne fra cementproduktion. Der antages en fangsteffektivitet på kulstoffangst på 90 pct. Alle øvrige industrianlæg anvender ikke kulstoffangst.

Cementproduktion

Cementproduktion antages at fortsætte i samme omfang som i dag. Brændselsforbruget til cementproduktionen udgøres af cirka 50 pct. ledningsgas, 40 pct. affald og brint for den resterende andel.

Procesudledninger fra øvrige kilder

Procesudledninger fra mineralogiske industriprocesser ud over cementproduktion fastholdes cirka på dagens niveau af omtrent 0,13 mio. ton CO₂e.

Klimarådet.

Procesudledninger fra flere forskellige mindre kilder, som i dag baseres på fossile energikilder, antages at overgå overvejende til biogene kilder. Det gælder blandt andet for forskellige smørelser, opløsningsmidler, asfalt, lys, m.fl.

Udledninger fra forskellige kølemidler til køle- og fryseanlæg, varmepumper, airconditionsanlæg m.fl. reduceres på baggrund af overgang til kølemidler med lavere opvarmningseffekt.

De samlede procesudledninger fra alle disse kilder antages i 2050 at summere til 0,37 mio. ton CO₂e, hvoraf 0,24 mio. ton CO₂ fortsat er fra fossile kilder.

Transport

Person-, varebiler og motorcykler

Al let vejtransport i form af personbiler, varebiler og motorcykler antages at være batterielektrisk i 2050.

Transportbehovet for den lette vejtransport antages at vokse i forhold til i dag. I Kendt Omstilling antages transportbehovet i person-, varebiler og motorcykler at følge KF23 frem til 2035 og dernæst fortsat stige med samme gennemsnitlige årlige udvikling som i KF23.

Lastbiler og busser

Ellastbiler antages i 2050 at dække 80 pct. af den indenrigs lastbiltransport. De resterende 20 pct. dækkes af brintlastbiler. Transportbehovet for lastbiler antages at vokse i forhold til i dag. I Kendt Omstilling antages transportbehovet at følge KF23 frem til 2035 og dernæst stige med samme gennemsnitlige årlige udvikling som i KF23.

90 pct. af den indenrigs bustransport antages i 2050 at blive kørt med elbusser. De resterende 10 pct. dækkes af brintbusser. Transportbehovet for lastbiler antages at vokse i forhold til i dag. I Kendt Omstilling antages transportbehovet at følge KF23 frem til 2035 og dernæst stige med samme gennemsnitlige årlige udvikling som i KF23.

Togdrift

Den indenrigs togdrift antages i 2050 at være fuldt elektrisk. Transportbehovet følger KF23 frem til 2035 og holdes uændret frem til 2050. Det resulterende energiforbrug til togdrift falder i forhold til i dag grundet den energieffektivisering, som sker som følge af elektrificeringen.

Indenrigsskibsfart

Indenrigsskibsfart inkluderer færgefart og godstransport mellem danske havne samt bunkring i Danmark til skibe, der sejler mellem Danmark og henholdsvis Grønland og Færøerne. Indenrigsskibsfarten, eksklusiv fiskerflådens energiforbrug, som inkluderes under industri, antages at overgå fra diesel og fueloile til el og grønne brændstoffer. Hurtigfærger antages at kræve brændstof i form af metanol. El og brint antages at dække resten af indenrigsskibsfarten. Drivmiddelfordelingen antages på baggrund heraf at udgøres af cirka 40 pct. metanol, 30 pct. el og 30 pct. brint.

Transportbehovet til indenrigsskibsfart i 2050 antages at være omtrentlig lig behovet i dag. Der antages ikke at blive realiseret energieffektivisering ud over effektivisering som følge af brændstofsift.

Indenrigsluftfart

Indenrigsluftfart inkluderer luftfart mellem danske lufthavne samt bunkring i Danmark til fly der flyver mellem Danmark og henholdsvis Grønland og Færøerne. Indenrigsluftfarten udgør et mindre energiforbrug og antages at anvende kulstofholdige brændstoffer, der kemisk minder om den jet fuel, der anvendes i dag.

Transportbehovet til indenrigsluftfart antages frem mod 2050 at stige med 20 pct. i forhold til i dag, hvilket omtrentligt svarer til energiforbruget før coronapandemien.

International skibsfart

Energiforbruget til international skibsfart dækker over energiindholdet i bunkring til skibsfart, der sejler internationalt og altså ikke mellem to danske havne. Transportforbruget har historisk varieret en del, men har generelt været faldende

Klimarådet.

over de seneste årtier. Transportforbruget til international skibsfart antages at stige 1 pct. pr. år fra 2025 til 2050. Dertil antages en forventet effektivitetsforbedring på 15 pct. i 2050 i forhold til i dag. Det resulterende energiforbrug er i 2050 31 PJ, hvilket repræsenterer en stigning på 9 pct. i forhold til energiforbruget i 2019 (seneste statistikår inden coronapandemien).

60 pct. af energiforbruget til den internationale skibsfart antages i 2050 at blive dækket af kulstoffrie brændstoffer, herunder altovervejende ammoniak, mens de resterende 40 pct. antages at skulle dækkes af kulstofholdige brændstoffer som metanol eller bioolie. Flere kilder opererer med brændstofsammensætninger med lignende andele kulstofholdige brændstoffer.²²

I analysens scenarie Kendt Omstilling produceres der ikke tilstrækkeligt grønt brændstof til at dække den internationale skibsfart. Rammebetingelsen om at producere brændstof tilsvarende bunkringen til international transport er kun anvendt i analysens hovedscenarier, der når 100 og 110 pct. reduktion. Se kapitel 5 for yderligere beskrivelse af rammebetingelser for analysens scenarier.

International luftfart

Energiforbruget til international skibsfart dækker over energiindholdet i bunkring i Danmark som anvendes til international luftfart, det vil sige luftfart, der ikke er mellem to danske lufthavne. Transportbehovet har været stigende de seneste årtier med undtagelse af årene under coronapandemien. Transportbehovet til international luftfart antages at stige 1,3 pct. pr. år fra 2025 til 2050. Dette svarer omtrent til den gennemsnitlige årlige stigning fra 1990-2019. Dertil antages en forventet effektivitetsforbedring på 10 pct. i 2050 i forhold til i dag. Det resulterende energiforbrug er i 2050 54 PJ, hvilket repræsenterer en stigning på 24 pct. i forhold til energiforbruget i 2019 (seneste statistikår inden coronapandemien).

Hele energiforbruget til international luftfart antages i Kendt Omstilling at skulle dækkes af kulstofholdige brændstoffer, der kemisk minder om den jet fuel, der anvendes i dag.

I analysens scenarie Kendt Omstilling produceres der ikke tilstrækkeligt grønt brændstof til at dække den internationale luftfart. Rammebetingelsen om at producere brændstof tilsvarende bunkringen til international transport er kun anvendt i analysens hovedscenarier, der når 100 og 110 pct. reduktion. Se kapitel 5 for yderligere beskrivelse af rammebetingelser for analysens scenarier.

5 Hovedscenarier

Hovedscenarierne giver forskellige bud på, hvordan Danmark kan nå et klimamål i 2050 på enten 100 pct. eller 110 pct. Hovedscenarierne opfylder alle disse tre rammebetingelser, der er beskrevet nærmere i hovedrapporten:

1. **30 pct. areal til beskyttet natur.** Danmarks arealanvendelse i scenarierne indrettes, så der stilles nok areal til rådighed til at kunne etablere 30 pct. beskyttet natur på land.
2. **Ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring.** Scenarierne indeholder ikke muligheden for at importere bioressourcer til energiformål eller til lagring af kulstof for at nå Danmarks klimamål. Der importeres derfor ikke fast biomasse eller biobrændstoffer i analysens scenarier. Der kan derimod godt importeres biogene produkter til andre formål fx møbler og fødevarer.
3. **Produktion af grønne brændstoffer til international transport.** Målet er operationaliseret ved, at Danmark, i tillæg til opnåelse af sine klimamål, i alle scenarier skal producere en mængde grønt brændstof svarende til den mængde, der bunkres i Danmark i 2050. Egenproduktion af grønne brændstoffer kan derudover bidrage til teknologiudvikling og -eksport.

Klimarådet.

Hovedscenarierne er bygget op om to overordnede veje til klimamålene: Ny Hverdag og Ny Teknologi

Hovedscenarierne udformes ved at bygge ovenpå de kendte omstillingselementer, integrere rammebetingelserne og derefter indføre scenariespecifikke antagelser, som passer ind i de to overordnede veje til klimamålene: Ny Hverdag og Ny Teknologi. Det resulterer i fire hovedscenarier:

- **Ny Hverdag 100**, der når en reduktion på 100 pct. primært ved at ændre produktion og forbrug
- **Ny Teknologi 100**, der når en reduktion på 100 pct. primært ved brug af ny teknologi
- **Ny Hverdag 110**, der når en reduktion på 110 pct. primært ved at ændre produktion og forbrug
- **Ny Teknologi 110**, der når en reduktion på 110 pct. primært ved brug af ny teknologi

I Ny Hverdag er det i høj grad strukturelle ændringer af produktion og forbrugsmønstre, der reducerer udledningerne yderligere fra 90 pct., opnået gennem de kendte omstillingselementer, til henholdsvis 100 og 110 pct. Væsentlige omstillingselementer er øget skovrejsning, færre husdyr i den animalske produktion, omlægning til plantebaseret kost, reduceret transportbehov og reduceret varmekonsum i bygninger.

I Ny Teknologi anvendes der i større grad nye teknologiske løsninger til at nå de øgede reduktionsmål. DACCS giver et væsentligt bidrag til at nå klimamålene. Dertil bidrager blandt andet pyrolyse, elektrificering, øget brug af kulstoffangst, produktion af kunstigt kød og mælk, fodertilsætningsstoffet bovaer og nitrifikationshæmmere.

Ny Hverdag skruer især op for kendte omstillingselementer

Ny Hverdag-scenarierne er kendetegnet ved, at der kun i begrænset omfang tages nye teknologier i brug for at nå klimamålene. DAC anvendes fx ikke. I stedet anvendes de ikke-teknologiske omstillingselementer, herunder skovrejsning, kostomlægning og reduceret animalsk produktion i større omfang end i Kendt Omstilling. De centrale omstillingselementer for Ny Hverdag fremgår af tabel 5.1.

Tabel 5.1 Centrale omstillingselementer i Ny Hverdag-scenarierne

Skov, landbrug og arealer	Energi, industri og øvrige sektorer
Skovrejsning	Reduceret vej-, skibs- og flytransport
Reduceret animalsk produktion	Reduceret varmekonsum i bygninger
Flerårige energifgrøder	Reduceret cementproduktion
Skift fra animalske til plantebaserede fødevarer	

Kilde: Klimarådet.

Rejsning af produktionsskov har stor betydning for CO₂-optaget i 2050 i alle scenarier. De træer, der plantes som led i skovrejsningen, optager CO₂ og lagrer kulstoffet herfra i stammer, grene og rødder, efterhånden som de vokser. I hovedscenarierne ligger optaget i skov mellem 3,5 og 7 mio. ton CO₂ i 2050, og en del af dette optag skyldes skovrejsning.

I Ny Hverdag 100 rejses produktionsskov på 250.000 hektar i 2050, og i Ny Hverdag 110 rejses produktionsskov på 500.000 hektar. Denne ekstra skovrejsning i Ny Hverdag 110 bidrager med næsten 2 mio. ton i negative udledninger inklusive kulstofflagringen i høstede træprodukter. Dette store optag skyldes blandt andet, at mange træer, som følge af skovrejsningen, er i en alder i 2050, hvor de vokser relativt hurtigt samtidig med, at de endnu ikke er hugstmodne og derfor bliver fældet.

Den animalske produktion af svin og kvæg reduceres med 60 pct. i Ny Hverdag 100 sammenlignet med Kendt Omstilling. Det medfører en reduktion af udledningerne på omkring 3 mio. ton CO₂e. I Ny Hverdag 110 reduceres den animalske produktion med 80 pct, hvilket medfører en reduktion af udledningerne på omkring 4 mio. ton CO₂e.

Klimarådet.

I Ny Hverdag-scenarierne antages transportbehovet i vej-, skibs- og lufttransporten og varmekonsumet i bygningerne at reduceres i forhold til i dag. Dette leder til en betydelig reduktion i energiforbruget i transporten og bygningerne, som bidrager betydeligt til at nå klimamålene i scenarierne. Scenariernes mindre forbrug af kulstofholdige brændstoffer i skibs- og luftfarten bidrager især med at frigive kulstof, der i stedet kan lagres og bidrage til negative udledninger.

I Ny Hverdag 100 og 110 reduceres cementproduktionen i Danmark med omkring 10 pct. og 25 pct. i forhold til i dag. Dette antages at være et resultat af blandt andet en reduktion i størrelsen af nybyggede bygninger i Danmark, en generelt mere effektiv brug af cement i bygge- og anlægssektoren samt en omstilling til andre byggematerialer. En reduktion i cementproduktion bidrager til et mindre forbrug af kulstofholdige brændsler. Desuden bidrager nedgangen i cementproduktion også til en mindre reduktion i procesudledningerne af fossil CO₂, hvoraf hovedparten dog indfanges via kulstoffangst.

I Ny Teknologi bliver nye landbrugsteknologier og DAC centrale

I Ny Teknologi-scenarierne fokuseres især på teknologiske omstillingselementer i landbruget og teknologisk optag af CO₂ direkte fra atmosfæren. De centrale elementer for Ny Teknologi-scenarierne fremgår af tabel 5.2.

Tabel 5.2 Centrale omstillingselementer i Ny Teknologi-scenarierne

Skov, landbrug og arealer	Energi, industri og øvrige sektorer
Brug af fodertilsætningsstoffer til kvæg	Øget elektrificering og energieffektivisering i industrien
Brug af nitrifikationshæmmere	Fangst og lagring af CO ₂ fra punktkilder
Bioraffinering af græs til proteinproduktion	Højteknologiske drivmidler til transport
Skovrejsning med hurtigtvoksende træarter	Brug af DAC til negative udledninger

Kilde: Klimarådet.

Fodertilsætningsstoffet bovaer til kvæg antages at reducere udledningen fra fordøjelsen med 30 pct. Hvis den nuværende animalske produktion opretholdes, og alle konventionelle kvæg får bovaer i foderet, vil det reducere restudledningen fra landbruget med omkring 0,9 mio. ton CO₂e. I scenarierne er reduktionen mindre, fordi den animalske produktion samtidig er reduceret, og fordi det antages, at bovaer kun gives til en andel af voksne dyr, da man i nogle scenarier ikke antager, at bovaer kan gives til dyr på græs.

Nitrifikationshæmmere reducerer udledningen af lattergas fra ammoniumholdig gødning. Omkring 60 pct. af den gødning der anvendes i dag er ammoniumholdig. Hvis der tilsættes nitrifikationshæmmere til denne gødning i Ny Teknologi-scenarierne, vil det reducere udledningen fra gødsning med omkring 0,4 mio. tons CO₂e.

Dyrkning af højtydende græs og bioraffinering af græs til produktion af proteiner er centrale omstillingselementer i Ny Teknologi-scenarierne. Det skyldes, at der på denne måde kan opnås flere forskellige formål: Skift fra fx korn til højtydende græs giver et større udbytte på samme areal, blandt andet fordi græsset har en længere vækstsæson og kan høstes flere gange om året. Skiftet medfører også en større kulstofopbygning i jorden, hvilket svarer til en negativ udledning. Samtidig giver proteinproduktion mulighed for at erstatte importeret soja til foder med protein og fiberfraktion fra bioraffineringen af græsset. Endelig kan restprodukter fra produktionen, brun saft og evt. dele af fiberfraktionen bruges til produktion af biogas.

I Ny Teknologi bruges hurtigtvoksende træarter i skovrejsningen og på arealer, der forynges i den eksisterende skov. Det betyder, at disse arealer hurtigt får et stort optag af CO₂. Samtidig bliver der også hurtigere en større produktion af både gavtræ og energitræ. Betydningen heraf for drivhusgasregnskabet afhænger af, hvor store arealer, der afsættes til skovrejsning. Ny Teknologi-scenarierne har rejst skov på 8.500 hektar i 2050. Med dette nye skovareal betyder et skift fra blandede skovtyper, som bruges i Ny Hverdag, til hurtigtvoksende et øget CO₂-optag på omkring 0,3 mio. ton om året i 2050 inklusive lagringen i høstede træprodukter. Blandede skovtyper har 50 pct. langsomt voksende og 50 pct.

Klimarådet.

hurtigtvoksende. Med et skovrejsningsareal på 250.000 hektar, som i Ny Hverdag 100, ville forskellen mellem blandede skovtyper og hurtigtvoksende være på 0,8 mio. ton CO₂ om året i 2050 inklusive lagringen i høstede træprodukter.

Elektrificering og energieffektivisering af industriprocesser er med til at eliminere industriens drivhusgasudledninger og forbrug af bioressourcer. I industriens lav- og mellemtemperaturprocesser elektrificeres 60 pct. af energitjenestebehovet i Ny Hverdag-scenarierne, mens dette øges til 75 pct. i Ny Teknologi 100 og 85 pct. i Ny Teknologi 110. I industriens højtemperaturprocesser elektrificeres 40 pct. af energitjenestebehovet i Ny Hverdag-scenarierne, mens dette øges til 50 pct. i Ny Teknologi 100 og 60 pct. i Ny Teknologi 110.

I Ny Teknologi-scenarierne antages en udbredt anvendelse af kulstoffangst i energi- og industrisektoren. En stor andel heraf er biogen, og fangsten muliggør derfor øgede negative udledninger via lagring af CO₂'en. I scenarierne anvendes også en stor mængde DAC, der tilsvarende muliggør store negative udledninger via lagring.

Som beskrevet i det forudgående, antages en større del af den internationale skibsfart at kunne anvende ammoniak i Ny Teknologi-scenarierne. Anvendelsen af ammoniak frem for fx metanol frigiver kulstof, der kan anvendes til andre formål, herunder negative udledninger. Brugen af direkte elektrificering og kulstoffrie brændstoffer i transporten bidrager dermed betydeligt til målopfyldelsen.

Udover de centrale omstillingselementer som fremgår af tabellerne 5.1 - 5.3, indgår der en række andre i scenarierne. En samlet oversigt over antagelser og omstillingselementer i Kendt Omstilling og i hovedscenarierne findes i kapitel 6.

Nogle omstillingselementer indgår i begge veje til at nå klimamålene

Nogle omstillingselementer indgår i både Ny Hverdag og Ny Teknologi-scenarier. Nogle af disse indgår også i Kendt Omstilling, men anvendes i større udstrækning i hovedscenarierne, hvor de har væsentlig betydning for at opfylde klimamålene og overholde rammebetingelserne. Vigtige tværgående omstillingselementer er følgende:

- **Udtag af arealer til natur.** Alle hovedscenarier har afsat 30 pct. af landarealet til natur. Det har stor betydning for udledninger og optag af drivhusgas fra Danmarks territorium. I Alternativt scenarie 3, det vil sige Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om natur, udtages der ikke mere natur end i Kendt Omstilling. Det betyder, at naturarealet udgør 14 pct. frem for 30 pct. Denne reduktion af naturarealet øger udledningen med omkring 2,3 mio. ton CO₂e.
- **Reduceret animalsk produktion og kostomlægning.** Den animalske produktion står for 44 – 55 pct. af de tilbageværende udledninger i hovedscenarierne i 2050. I Ny Hverdag reduceres den animalske produktion med kvæg og svin henholdsvis 60 og 80 pct. for at nå henholdsvis 100 og 110 pct., mens den i Ny Teknologi reduceres med henholdsvis 20 og 40 pct. for at nå 100 og 110 pct. Det passer med, at det også antages i alle scenarier, at kosten omlægges væk fra animalske produkter.
- **Lagring af biokul fra pyrolyse.** Pyrolyse og lagring af biokul indgår i begge veje, men i varierende grad. Mængden af biomasse, der pyrolyseres varierer fra 1,2 til 4,8 mio. ton tørstof. Pyrolyse og lagring af biokul medfører negative udledninger på mellem 0,3 og 2,1 mio. tons CO₂e i scenarierne.
- **Øget produktion af biomasse.** Rammebetingelsen om ikke at importere bioressourcer til energi og kulstofflagring gør det nødvendigt at øge produktionen af biomasse i alle scenarier. Dette uddybes nedenfor.
- **Bioraffinering af græs** finder primært sted i Ny Teknologi-scenarierne, men indgår også i mindre omfang i Ny Hverdag 110, hvor der er brug for yderligere tiltag for at nå klimamålet. Græsprotein bruges til foder til husdyr og bidrager til at undgå import af foder. Foderimporten elimineres i alle scenarier undtagen Ny Teknologi 100, hvor der stadig er en høj animalsk produktion.
- **BECCS** bidrager i alle scenarier, idet der fortsat anvendes en vis mængde biomasse til regulerbar produktion af el og fjernvarme, herunder affaldsforbrænding og i industrien. Der kan desuden fanges biogen CO₂ fra biogasopgradering. Der er derfor i alle scenarier tilgængelige punktkilder, hvorfra der kan fanges CO₂, som dernæst kan lagres eller alternativt anvendes.

Klimarådet.

- **Produktion af grønne brændstoffer** indgår på grund af rammebetingelsen i alle scenarier. Dette udbydes nedenfor.

Produktion af grønne brændstoffer er centralt i både Ny Hverdag og Ny Teknologi

Rammebetingelsen om at producere brændstoffer til at dække forbruget i international skibs- og luftfart, som tankes indenlandsk, indebærer, at der skal produceres store mængder brændstoffer, hvoraf en delmængde forventeligt vil indeholde kulstof.

De fossile brændstoffer, som anvendes i den internationale transport i dag, forventes i 2050 at kunne erstattes af forskellige bio- og elektrobrændstoffer samt i et vist omfang direkte elektrificering. Biobrændstoffer er brændstoffer, som produceres af bioressourcer, og hvor al eller en stor del af energien i brændstoffet kommer fra bioressourcerne. Kulstoffet i biobrændstoffer stammer ligeledes fra bioressourcerne. Biogas og bio-metanol er eksempler på biobrændstoffer. Elektrobrændstoffer kaldes ofte også power-to-X-brændstoffer og er brændstoffer, hvor energien kommer fra den el, der anvendes til at producere brint, som dernæst kan bruges direkte eller kan videreforarbejdes til andre brændstoffer. Kulstoffoldige elektrobrændstoffer som metanol og jet fuel kræver et input af CO₂, som skal indfanges fra punktkilder eller via teknologier som DAC. Kulstoffrie elektrobrændstoffer som ammoniak kræver ikke et input af CO₂, men produceres med udgangspunkt i brint og nitrogen, hvoraf sidstnævnte kan indfanges fra luften.

Disse bio- og elektrobrændstoffer vil i nogle tilfælde kunne anvendes som såkaldte drop-in-fuels, hvor der ikke kræves betydelige ændringer i skibs- og flymotorerne i forhold til i dag. Det gælder fx for diesel og jet fuel, som produceres både som bio- og elektrobrændstof. I andre tilfælde vil anvendelsen af brændstofferne kræve nyudviklede motorer, fx ammoniakmotorer til skibsfarten.

Det antages i alle scenarier, at luftfart over store distancer kræver kulstoffoldige brændstoffer, der kemisk vil minde meget om den jet fuel, der anvendes i luftfarten i dag. I Ny Hverdag-scenarierne antages den internationale luftfart kun at anvende jet fuel, mens der i Ny Teknologi-scenarierne antages, at brint- og og elfly kan dække henholdsvis 10 og 2 pct. af transportbehovet.

I skibsfarten antages det at kulstoffrie brændstoffer som ammoniak i varierende grad kan udgøre en betydelig delmængde af brændstofforbruget, men at kulstoffoldige brændstoffer som metanol og forskellige olieprodukter forventeligt også vil spille en rolle og dække det resterende forbrug. I Ny Hverdag-scenarierne dækkes 60 pct. af skibsfartens energiforbrug af ammoniak, mens denne andel øges til 75 pct. i Ny Teknologi-scenarierne.

I alle hovedscenarierne indgår en række forskellige brændstofproduktionsprocesser, som i overvejende grad er baseret på processer og antagelser fra Energistyrelsens *Teknologikatalog for fornybare brændstoffer* samt en række øvrige kilder. I scenarierne indgår muligheden for at producere brint, ammoniak, metanol, diesel og jet fuel som elektrobrændstof og biogas, metanol, diesel, jet fuel og forskellige bioolier som biobrændstof. Dertil vil der i processerne også produceres forskellige andre produkter, som naphtha og forskellige mindre fraktioner af brændbare gasser. Derudover indgår muligheden for at bearbejde pyrolyseolie fra pyrolyseprocesser, så olien kan anvendes i blandt andet skibsfart.

Flere af disse processer eller delelementer heraf er baseret på velkendte processer, mens flere af processerne fortsat har en lav teknologisk modenhed i dag. Derfor vil der i flere tilfælde være en betydelig usikkerhed om især effektiviteten og omkostningerne ved brændstofprocesserne.

Hovedscenarierne producerer nok bioressourcer til energiformål og kulstoflagring

Scenarierne opbygges, så behovet for bioressourcer til energiformål og kulstoflagring opfyldes. Behovet for bioenergi er blandt andet bestemt af behovet for regulerbar elkapacitet og behovet for biomasse til produktion af brændstoffer.

Alle hovedscenarier øger derfor produktionen af biomasse i forhold til 2020. Rammebetingelsen om ikke at importere bioressourcer til energi og kulstoflagring betyder, at behovet for bioenergi og for biogent kulstof til lagring skal dækkes med danske bioressourcer. Grundantagelsen om et stigende udbytte af afgrøder frem til 2050 bidrager, men scenarierne gør derudover brug af en række omstillingselementer for at øge produktionen af bioressourcer.

Klimarådet.

Biomasseproduktionen øges på forskellige måder i de to tilgange Ny Hverdag og Ny Teknologi. I Ny Hverdag øges biomasseproduktionen primært gennem øget skovrejsning og dyrkning af flerårige energiafgrøder. I Ny Teknologi rejses mindre produktionsskov. I stedet bruges flere hurtigtvoksende træarter i skovene og der høstes flere efterafgrøder. Dyrkning af højtydende græs til bioraffinering ses som et teknologisk tiltag, der primært anvendes i Ny Teknologi. Havbrug bruges også mest i Ny Teknologi. Øget halmopsamling og høst af naturarealer sker i begge tilgange.

Halmopsamlingen antages i alle hovedscenarier at blive øget fra 54 pct. af halmen i 2020 til 80 pct. Øgningen sker for at tilvejebringe mere biomasse til energi og lagring, men den er ikke sat højere end 80 for at sikre, at der stadig tilbageføres kulstof til jorden.

Det er i alle hovedscenarier antaget, at der høstes biomasse på 15 pct. af arealtypeperne: *græsarealer*, *vådområder* og *andet landbrugareal*. Det antages, at denne høst er forenelig med at tilgode biodiversiteten, idet den kan bidrage til at fjerne næringsstoffer fra arealerne, og bidrage til at holde nogle arealer lysåbne.

Scenariernes brug af omstillingselementer, der øger produktionen af bioressourcer, fremgår af tabel 5.3.

Tabel 5.3 Omstillingselementer, der øger biomasseproduktionen i hovedscenarierne

Omstillingselement	Parameter	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110
Omlægning af afgrøder fra korn til græs	Andel af landbrugsareal til højtydende græs (pct.)	0	17	10	22
Dyrkning af N-fikserende efterafgrøder	Areal med N-fikserende efterafgrøder (ha)	0	500.000	0	500.000
Høst af efterafgrøder	Andel N-fikserende afgrøder der høstes (pct.)	0	90	0	90
Dyrkning af flerårige energiafgrøder (pil)	Andel af landbrugsareal med pil (pct.)	12	2	25	2
Øget opsamling af halm	Andel opsamlet halm (pct.)	80	80	80	80
Høst på naturarealer	Andel af visse naturarealer der høstes (pct.)	15	15	15	15
Rejsning af produktionsskov	Nyt areal med produktionsskov ift. 2020 (ha)	250.000	83.500	500.000	83.500
Brug af hurtigtvoksende træarter i skove	Andel af hurtigtvoksende skovtyper på nyt og fornyget skovareal (pct.)	50	100	50	100
Brug af biomasse fra havet	Andel af potentialet for kystnært havbrug der udnyttes (pct.)	< 3	100	< 3	100

Kilde: Klimarådet.

Scenarierne opbygges, så klimamålet nås

Scenarierne bygges op, så de både dækker de relevante forbrug af energi og transport og samtidig når klimamålet.

Omstillingen i transporten, energisektoren, husholdninger og industrien er fastlagt på baggrund af potentialevurderinger for omstillingselementer i de enkelte sektorer. På baggrund af disse vurderinger antages der ikke at være restudledninger tilbage i transport, energisektor og husholdninger, og der antages kun at være meget få restudledninger tilbage i industrien. De tilbageværende restudledninger er primært fra landbruget.

Scenarierne justeres, så det relevante klimamål opfyldes, ved at justere på mængden af negative udledninger via skovrejsning, biokul, BECCS og DACCS. I Ny Teknologi er det altovervejende DAC, der udgør det marginale

Klimarådet.

omstillingselement. I Ny Hverdag udgøres justeringen af en kombination af de biologiske metoder til negative udledninger, altså skov, biokul og BECCS.

Fordelingen mellem skov, biokul og BECCS i Ny Hverdag 100 og 110 er fastlagt på baggrund af flere forhold, blandt andet af kulstofeffektiviteten af processerne og tilgængeligheden af bioressourcer. Mængden af bioressourcer afhænger til dels af overordnede valg i scenarierne såsom fordelingen mellem skovareal og landbrugsareal. Dernæst afhænger det af afgrødefordelingen, herunder af om der dyrkes højtydende græs til græsproteinproduktion.

Afgrødevalget er også til dels bestemt af scenariebeskrivelsen. Men for at nå klimamålet justeres afgrødefordelingen således at der produceres tilstrækkeligt med biomasse til at målet kan nås, enten ved hjælp af mere pyrolyse eller mere BECCS.

Fordelingen mellem skov, biokul og BECCS i scenarierne ville kunne se anderledes ud, og fordelingen skal ikke tolkes som Klimarådets bud på den mest omkostningseffektive eller mest kulstofeffektive fordeling. Der er dog skelet til kulstofeffektiviteten af de forskellige biologiske metoder til negative udledninger i fastlæggelsen af, hvor meget biokul leverer i forhold til skov og BECCS.

Skovenes CO₂-optag er behæftet med stor usikkerhed

Hovedscenarierne har som nævnt et CO₂-optag i skov på mellem 3,6 og 7,1 mio. ton i 2050. Dette optag har stor betydning for målopfyldelsen. Der er dog samtidig en meget stor usikkerhed forbundet med størrelsen af dette optag.

Det skyldes blandt andet, at der generelt er stor usikkerhed forbundet med opførelse af udledninger og optag fra skove og fra puljen af høstede træprodukter.²³ Nettoudledninger og -optag fra skov er fx et resultat af relativt små ændringer i meget store kulstofpuljer, hvor selv en lille måleusikkerhed kan medføre en usikkerhed i opgørelsen på mere end 1,5 mio. ton CO₂e.²⁴

Fremskrivning af udledninger og optag i skov medfører yderligere en række usikkerheder. Der er således usikkerhed om, hvordan skovarealerne vil blive forvaltet, og hvilke år træerne vil blive fældet, hvilket kan give store udsving fra år til år. Der er desuden usikkerhed om, hvor store andele af den fældede vedmasse, der ender med at blive lagret i puljen af høstede træprodukter.

Skovenes udvikling er desuden påvirket af faktorer, som er svære at forudsige, og derfor svære at tage højde for. Skovenes tilvækst kan fx øges på grund af et større indhold af CO₂ i atmosfæren og et varmere klima. Men klimændringer kan også medføre angreb af sygdomme eller insekter, en mere ujævn fordeling af nedbør, og en større risiko for skovbrand eller stormfald. Alle disse forhold kan gøre skovenes optag af CO₂ både større eller mindre end forventet.

Endelig giver modelleringsmetoden i BioRes også anledning til usikkerhed. Dette er nærmere beskrevet i *Baggrundsnotat 2*.

Skovenes optag af CO₂ kan forventes at fortsætte efter 2050

I tiden efter 2050 vil flere træer på skovrejsningsarealerne efterhånden blive hugstmodne, og kan derfor blive fældet. Når træ fældes og føres væk fra skoven, taber skoven noget af sit kulstoflager, hvilket regnes som en udledning i drivhusgasopførelsen. CO₂-optaget i produktionsskoven vil derfor variere efter 2050 og efterhånden aftage.

Overslagsberegninger viser, at hvis nåletræerne bliver hugstmodne, når de bliver 60 år, vil kulstofoptaget i skoven øges frem til 2070. For både Ny Teknologi og Ny Hverdag vil netto CO₂-optaget i skov være højere i både 2060 og 2070 end i 2050. Derefter vil fældning af hugstmodne nåletræer på de genplantede arealer begynde at gøre indhug i det årlige CO₂-optag. Stigende hugst vil altså betyde, at nettooptaget falder, men det vil fortsat være betydeligt, det vil sige over 2,5 mio. ton, frem til år 2100, om end dette er behæftet med usikkerhed på grund af de ovenfor nævnte forhold.

Klimarådet.

6 Oversigt over antagelser og omstillingselementer i hovedscenarierne

I dette kapitel gennemgås i tabel 6.1-6.6 de anvendte omstillingselementer for Kendt Omstilling og de fire hovedscenarier. Tabellerne indeholder alle de omstillingselementer, der blev omtalt i kapitel 5. Tabellerne dækker langt størstedelen af omstillingselementerne i scenarierne, men udgør ikke fuldt udtømmende lister.

Tabel 6.1 Antagelser og omstillingselementer for arealanvendelse

	Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110	
Arealanvendelse	Rammebetingelse om 30 pct. areal til natur	-	nej	ja	ja	ja	
	Andel af areal afsat til natur	pct.	14	30	30	30	
	Andel kulstofrige lavbundsjord udtaget ift. 2020	pct.	70	70	70	70	
	Rejsning af ny produktionsskov	ha	83.500	250.000	83.500	500.000	83.500
	Skovtyper	-	Langsomt voksende	Blandede	Hurtigt voksende	Blandede	Hurtigt voksende
	Areal omlagt fra produktionsskov til urørt skov	ha	48.125	160.000	160.000	160.000	160.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til urørt skov	ha	0	290.500	300.000	278.000	300.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til græsarealer	ha	0	290.500	300.000	278.000	300.000
	Inddraget areal til bebyggelse	ha	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
	Areal til solceller	ha	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000

Kilde: Klimarådet.

Tabel 6.2 Antagelser og omstillingselementer for fødevarerforbrug og adfærd

	Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi i 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110	
Fødevarerforbrug og adfærd	Andel af omlagt oksekødsforbrug ift. 2020	pct.	8	83	8	83	40
	Andel af omlagt svinekødsforbrug ift. 2020	pct.	8	90	8	90	40
	Andel af omlagt mælkeforbrug ift. 2020	pct.	19	21	19	80	40
	Andel af omlagt osteforbrug ift. 2020	pct.	0	0	0	50	0
	Animalske fødevarer omlægges til	-	Plantebaseret alternativ	Plantebaseret alternativ	Kunstigt kød og mælk	Plantebaseret alternativ	Kunstigt kød og mælk
	Madspild	pct.	21	10	21	10	21
	Udsortering af bioaffald	pct.	42	42	90	42	90

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Table 6.3 Antagelser og omstillingselementer for landbrug

	Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110	
Landbrugsproduktion	Udvikling i høstudbytter ift. 2020	pct.	19,5	19,5	19,5	19,5	
	Udvikling i husdyrproduktion med svin og kvæg ift. 2020	pct.	0	-60	-20	-80	
	Andel af konventionelle kvæg med Bovaer tilsat til foderet	pct.	29	29	40	29	
	Andel af økologisk kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	0	0	20	0	
	Andel af konventionelt kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	29	29	29	29	
	Andel af husdyr- og kunstgødning, som tilsættes nitrifikationshæmmere	pct.	0	0	40	0	
	Andel økologiske afgrøder	pct.	16	16	16	16	
	Andel økologisk husdyr	pct.	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20
	Andel af korn på landbrugsareal	pct.	52	52	42	40	
	Andel bælgssæd	pct.	1	10	6	7	
	Andel højtydende græs	pct.	0	0	17	10	
	Andel pil	pct.	0,3	12	2	25	
	Andel opsamlet halm	pct.	54	80	80	80	
	Areal med N-fikserende efterafgrøder	ha	0	500.000	0	500.000	
	Andel N-fikserende efterafgrøder der høstes	pct.	0	90	0	90	
	Import af foder	pct.	20	0	9	0	
	Andel græsprotein i foder	pct.	0	0	8	12	
	Andel af naturarealer der høstes	pct.	0	15	15	15	

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 6.4 Antagelser og omstillingselementer for biogas og pyrolyse

	Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110
Biokul via pyrolyse	Samlet input af bioressourcer til produktion af biokul	mio. ton TS	1,2	1,2	2,9	4,8
	Input af afgasset biomasse til produktion af biokul	mio. ton	10	9,5	48,3	47,6
	Input af halm til produktion af biokul	mio. ton	0,2	0,1	0,4	0,4
	Input af pil til produktion af biokul	mio. ton	0	0	0	5,5
	Input af græsfiberfraktion til produktion af biokul	mio. ton	0	0	0	0
	Input af haveparkaffald til produktion af biokul	mio. ton	0	0,4	0,4	0,4
	Produktion og lagring af biokul fra spildevandsslam	mio. ton	1,1	1,1	1,1	1,1
Biogas	Biogasproduktion af andel af husdyrgødning	pct.	90	90	90	90
	Andel af gylle der udsluses hurtigt	pct.	90	90	90	90
	Halm til biogasproduktion	mio. ton	0,3	1,7	0,5	0,5
	Import af biomasser til biogas	-	ja	nej	nej	nej
	Brunsaft fra bioraffinering til biogas	mio. ton	0	0	16	6
	Græsfiber fra bioraffinering	mio. ton	0	0	5	2,5
	Efterafgrøder til biogas	Ton	0	4	0	4
	Biogasproduktion	PJ	49	39	55	36
Andre ressourcer	Andel af udnyttet potentiale af produktion af muslinger	pct.	3	3	100	3
	Andel af udnyttet potentiale af produktion af tang	pct.	0	0	100	0
	Halm til afbrænding	mio. ton	1,6	1,6	1,6	1,6

Anm.: Bioressourcerne til produktion af biokul består af separeret afgasset biomasse fra biogasproduktion, halm, pil, græsfiberfraktion (tilbageværende pulp efter udvinding af protein fra græs), haveparkaffald og spildevandsslam. Meget våde biogene produkter, som fx afgasset biomasse, undergår en separationsproces inden pyrolysning. Det betyder, at kun omkring halvdelen af tørstofindholdet i den afgassede biomasse tilgår pyrolyseprocessen, mens resten tilbageføres til marken.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tablet 6.5 Antagelser og omstillingselementer i energi, industri og CO₂-fangst

	Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110	
Forbrug og produktion	Rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstolagring	-	nej	ja	ja	ja	
	Følger el- og brintkapaciteten samt fjernvarmefordelingen i Energistyrelsens AF23	-	ja	ja	ja	ja	
	Udvikling i opvarmet bygningsareal ift. i dag	pct.	14	0	14	0	14
	Udvikling i energiforbrug til opvarmning pr. m ² ift. i dag	pct.	-11	-23	-11	-23	-11
	Andel af energiforbrug til bygningsopvarmning, der er fossilfri	pct.	100	100	100	100	100
	Andel af varmebehov i husholdninger og serviceerhverv, der forsynes af fjernvarme	pct.	60	60	60	60	60
	Udvikling i omfang af cementproduktion ift. 2022	pct.	0	-10	0	-25	0
	Elektrificering af lav- og mellemtemperatur industriprocesser	pct.	60	60	75	60	85
	Elektrificering af højtemperatur industriprocesser	pct.	40	40	50	40	60
	Brint i højtemperatur industriprocesser	pct.	5	10	20	15	20
	Elektrificering i intern transport i industrien	pct.	50	50	50	50	75
	Reduceret energiforbrug som følge af energieffektivisering i industri i forhold til 2022	pct.	-5	-10	-15	-10	-20
	Øget el- og varmeproduktion fra biomassefyret kraftvarme med CO ₂ -fangst ift. Kendt Omstilling	pct.	-	0	0	65	0
CO ₂ -fangst	Andel af brændstofproduktion, herunder biogasopgradering med CO ₂ -fangst	pct.	100	100	100	100	100
	Andel af cementproduktion med CO ₂ -fangst	pct.	100	100	100	100	100
	Andel af udledning fra kraftvarmeverker med CO ₂ -fangst	pct.	50	50	90	90	90
	Andel af udledning fra øvrige punktkilder i industri og fra fjernvarmekedler med CO ₂ -fangst	pct.	0	0	50	50	50
	Andel af udledning fra affaldsforbrændingsanlæg med CO ₂ -fangst	pct.	90	90	90	90	90
	Anvendes DACCS som marginalt omstillingselement for at nå klimamål?	-	nej	nej	ja	nej	ja
	Fangsteffektivitet, CCS	pct.	90	90	95	90	95

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 6.6 Antagelser og omstillingselementer for transport og drivmidler

		Enhed	Kendt Omstilling	Ny Hverdag 100	Ny Teknologi 100	Ny Hverdag 110	Ny Teknologi 110
Transportbehov	Rammebetingelse om, at al grønt brændstof til bunkring skal mødes af national produktion	-	nej	ja	ja	ja	ja
	Energiforbrug til international luftfart ift. 2019	pct.	24	-10	24	-20	24
	Energiforbrug til internationalt skibsfart ift. 2019	pct.	9	-10	9	-20	9
	Transportbehov i indenrigsluftfart ift. 2024	pct.	20	8	20	-4	20
	Transportbehov i indenrigsskibsfart ift. 2024	pct.	-5	-15	-5	-24	-5
	Transportbehov i jernbane ift. 2024	pct.	-19	1	-19	21	-19
	Transportbehov i vejtransport ift. 2019	pct.	24	-10	24	-20	24
Drivmidler	Andel af vejtransport, der er fossilfri	pct.	100	100	100	100	100
	Andel af international luftfart, der dækkes af jet fuel (bio- og elektrobrændstof)	pct.	100	100	88	100	88
	Andel af international luftfart, der dækkes af brint	pct.	-	0	10	0	10
	Andel af international luftfart, der dækkes af el	pct.	-	0	2	0	2
	Andel af international skibsfart, der dækkes af ammoniak	pct.	-	60	75	60	75
	Andel af international skibsfart, der dækkes af kulstofholdige brændstoffer	pct.	-	40	25	40	25
	Andel af indenrigsluftfart på el	pct.	0	100	100	100	100
	Andel af indenrigsskibsfart på metanol	pct.	40	40	0	40	0
	Andel af indenrigsskibsfart på brint	pct.	30	30	30	30	30
	Andel af indenrigsskibsfart på el	pct.	30	30	70	30	70

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

7 Vurdering af hovedscenarierne ud fra udvalgte samfundshensyn

I rapporten *Danmarks Klimamål i 2050* vurderes analysens fire hovedscenarier i kapitel 4 ud fra en række samfundshensyn. Formålet er at sammenligne scenariernes relative styrker og svagheder. Scenariernes styrker og svagheder vurderes relativt til hinanden ud fra ni udvalgte samfundshensyn. I følgende afsnit 7.1 beskrives metoden bag vurderingen af scenarierne. Efterfølgende i afsnit 7.2 gennemgås den konkrete vurdering af de fire hovedscenarier, scenarie for scenarie.

7.1 Metode til vurdering af scenarier

Dette afsnit uddyber den korte introduktion til vurderingsmetoden, som findes i hovedrapportens afsnit 4.1, og uddyber kriterierne, der ligger til grund for vurderingerne i afsnit 4.2.

Scenarierne vurderes på ni samfundshensyn fordelt på tre temaer. De tre temaer er udledt fra en overordnet forståelse af, at Danmarks klimamål skal opnås under hensyntagen til relevante samfundsforhold. Dette betyder ikke, at man skal gå på kompromis med klimamålene, men at forskellige hensyn kan påvirke, hvordan klimamålene bedst nås. Nogle af de relevante samfundshensyn i denne analyse er indskrevet i klimaloven under betegnelsen *guidende principper*, mens andre er tilføjet af Klimarådet for at belyse Danmarks langsigtede omstilling.

- **Danmark som inspirationskilde.** Dette tema afspejler, at Danmark, i henhold til klimaloven, skal "være et foregangsland i den internationale klimaindsats, som kan inspirere og påvirke resten af verden. Danmark har derudover både et historisk og moralsk ansvar for at gå forrest".²⁵ I denne analyse vedrører denne ambition både det at have et højt nationalt klimamål, samt at opnå klimamålet på en måde, som er nem for omverdenen at efterfølge. Konkret vurderes sidstnævnte ud fra, om Danmarks bioenergiforbrug kan opskaleres globalt, og om Danmark omstiller sig ved brug af dyre teknologiske løsninger, som andre lande kan få svært ved at prioritere midler til.
- **Direkte globale effekter.** Dette tema betegner de mere direkte påvirkninger som Danmarks klimaomstilling kan have på omverdenen. I denne analyse drejer det sig konkret om vores muligheder for at eksportere fødevarer og grøn energi til udlandet, bidrage til udviklingen af klimavenlig teknologi, og minimere kulstoflækage til udlandet, som sker hvis danske territoriale reduktioner giver anledning til udledninger i udlandet.
- **Barrierer for langsigtet omstilling.** Dette tema sætter fokus på, at Danmarks nationale klimaomstilling både kan bremses af høj teknologirisiko og af risikoen for manglende accept i befolkningen af klimatiltag, der kræver store og hurtige ændringer af forbrugs- og produktionsmønstre.

Tabel 7.1 beskriver de ni samfundshensyn, som er udvalgt på baggrund af et kriterium for samfundsmæssig relevans, og et kriterium for, at analysemetoden skal kunne belyse de relevante konsekvenser i scenarierne tilstrækkeligt. Operationaliseringen af de ni samfundshensyn beskrives senere i dette kapitel, som uddyber de udvalgte parametre, der bruges til at vurdere styrker og svagheder inden for hvert samfundshensyn, samt kriterierne for, hvad der betegner styrker og svagheder i hovedrapportens vurderinger.

Klimarådet.

Tabel 7.1 Oversigt over de ni udvalgte samfundshensyn i scenarietvurderingen fordelt på tre temaer

Tema	Samfundshensyn	Beskrivelse
Danmark som inspirationskilde	<i>Klimamål</i>	Hvor meget reduceres Danmarks territoriale CO ₂ e-udledninger i 2050?
	<i>Global skalerbarhed af bioenergiforbruget</i>	I hvor høj grad er scenariets bioenergiforbrug bæredygtigt, hvis det skaleres globalt?
	<i>Teknologiomkostninger</i>	I hvor høj grad medfører scenariet tekniske og finansielle omkostninger til ny teknologi, som især udviklingslande kan få svært ved at betale?
Direkte globale effekter	<i>Udvikling af klimavenlig teknologi</i>	I hvor høj grad kan Danmarks omstilling bidrage til udviklingen af klimavenlige teknologier, som også kan hjælpe resten af verden med at omstille sig?
	<i>Potentielt nettobidrag af fødevarer og foder til udlandet</i>	Hvor stort er Danmarks produktionsoverskud, og dermed potentielle nettoeksport, af fødevarer og foder til udlandet?
	<i>Potentielt nettobidrag af energi til udlandet</i>	Hvor stor er Danmarks produktionsoverskud, og dermed potentielle nettoeksport, af energi til udlandet?
	<i>Lækagerisiko</i>	Hvor stor er risikoen for, at opfyldelsen af Danmarks territoriale klimamål, flytter udledninger til udlandet?
Barrierer for langsigtet omstilling	<i>Teknologirisiko</i>	I hvilket omfang baserer scenariet sig på teknologi, som endnu er uprøvet i stor skala?
	<i>Risiko for manglende accept af omstillingen</i>	I hvilket omfang baserer scenariet sig på strukturelle forandringer af produktions- og forbrugsmønstre, som kan udfordre accepten af omstillingen i samfundet?

Anm.: Placeringen af samfundshensyn inden for temaerne er ikke entydig for alle hensynene. Klimamålet har eksempelvis også en direkte global effekt på klimaet, og manglende accept af omstillingen kan have en negativ effekt på Danmarks evne til at være inspirationskilde for andre lande.

Kilde: Klimarådet.

Overordnede metodiske overvejelser

Nogle samfundshensyn påvirker hinanden

Nogle af samfundshensynene hænger sammen, blandt andet på grund af de systemiske sammenhænge som analysemetoden kan skabe overblik over. Danmarks store produktion af animalske fødevarer til eksport medfører også, at der er en sammenhæng mellem *lækagerisiko* og *risiko for manglende accept af omstillingen*. I Danmark kan omstillingen af produktionen og forbruget af fødevarer øge risikoen for, at klimainsatsen ikke møder udbredt accept. I udlandet kan den globale klimaeffekt af produktionsændringerne i Danmark blive afhængig af, om udenlandske forbrugere ligeledes omlægger deres forbrug til en mindre klimabelastende kost, hvormed der også er en lækagerisiko.

Sammenhængene kan også vedrøre karaktertræk ved omstillingsselektorerne. Hvis fx samfundshensynet *udvikling af klimavenlig teknologi* skal tilgodeses ved at anvende mere uprøvet teknologi, medfølger også større *teknologirisiko* i scenariet. Dette skyldes, at når et scenarie vurderes at rumme betydelige muligheder for teknologiudvikling, så stiger risikoen samtidig for, at scenariet baserer sig på løsninger, der viser sig ikke at blive tilgængelige eller at blive meget dyre. Desuden vil scenarier med høj teknologirisiko typisk også have større teknologiomkostninger.

De tre rammebetingelser afspejler også samfundshensyn

I tillæg til de ni samfundshensyn anvendes analysens rammebetingelser også til at tilgodesse tre samfundshensyn, som ikke varierer i hovedscenarierne, og derfor hverken fremhæves her eller i analysens kapitel 4. For det første gives der

Klimarådet.

mulighed for at forbedre den danske biodiversitet ved at afsætte 30 pct. af landarealet til naturformål, svarende til en ligelig fordeling af målet i EU's fælles biodiversitetsstrategi. For det andet begrænses vores aftryk på arealanvendelsen i udlandet, som kan medføre biodiversitetstab og mindre adgang til biogent kulstof, ved at scenarierne ikke nettoimporterer bioressourcer til energiformål og kulstoflagring. Endelig tager scenarierne ansvar for udledninger fra Danmarks internationale transport (målt ved bunkring) ved at producere tilstrækkeligt med grønne brændstoffer.

Der vil dog være variation inden for disse samfundshensyn i de alternative scenarier, der blandt andet ændrer på rammebetingelserne.

Samfundsøkonomiske omkostninger er ikke afspejlet i analysen

Det vil være væsentligt at tage forventninger til de samfundsøkonomiske omkostninger i betragtning, når den fremtidige klimapolitik skal formuleres. Men et estimat for de samfundsøkonomiske omkostninger i 2050 er forbundet med så stor usikkerhed, at Klimarådet har valgt at udelade det i denne scenarieanalyse. Scenarierne vurderes på deres forventede overordnede niveau for teknologiomkostninger gennem kvalitative skøn baseret på omkostningsestimater i litteraturen. Teknologiomkostninger indeholder desuden ikke mulige sideeffekter eller nytteforbrug ved forbrugs- og produktionsændringer, som er relevante for at kunne foretage samfundsøkonomiske beregninger.

Klimarådet har beregnet et groft estimat af, hvad det potentielt kan koste at anvende DACCS i scenarierne Ny Teknologi 100 og 110, som vist i rapportens boks 4.1. Boksen viser blot en enkelt, men potentielt vigtig, omkostning ved at nå klimamålet i 2050.

Konkurrenceevne og andre guidende principper er vanskelige at opføre i 2050

Det er vanskeligt at opføre de enkelte scenariers indflydelse på forhold som dansk konkurrenceevne og erhvervsudvikling, beskæftigelse og offentlige finanser, som indgår i de guidende principper i klimaloven.

Fokus på udvikling af ny klimavenlig teknologi kan potentielt medføre konkurrencemæssige fordele for Danmark, som over tid kan komme dansk erhvervsliv, beskæftigelse og offentlige finanser til gavn. Der er imidlertid stor usikkerhed om, hvad effekten af større satsninger på klimavenlig teknologi konkret vil være, da årsagsvirkningerne inden for innovation er komplekse og afhængige af udenlandske markedstendenser.

Hvert samfundshensyn vurderes på en parameter

Hvert af de ni samfundshensyn er operationaliseret til at blive vurderet på én parameter, hvilket bidrager til en systematisk vurdering på tværs af scenarierne. Nogle af parametrene kan opgøres kvantitativt, mens andre vurderinger beror på kvalitative skøn, fx baseret på karakteren af scenariernes omstillingsselementer.

Inden for hver parameter vurderes det, om resultaterne udgør en styrke, en svaghed eller et middelgodt aspekt ved scenarierne. De konkrete parametre og kriterierne for vurderingerne uddybes nærmere i de følgende tabeller for hvert af de tre temaer.

Vurderingerne beror på en sammenligning af scenarierne

Vurderingerne er i udgangspunktet relative, idet kriterierne er fastlagt for at fremhæve relevant variation mellem scenarierne. For nogle af samfundshensynene inddrages der dog betragtninger om ændringer relativt til i dag eller absolutte kriterier med grundlag i forskningslitteratur og analyser. Dette kan resultere i, at intet scenarie vurderes til at have en svaghed eller en styrke inden for et givet samfundshensyn. Eksempelvis inddrages der absolutte kriterier for biomasseforbrug pr. indbygger, hvor analysen henviser til vurderinger af det bæredygtige globale niveau fra forskningen og internationale organisationer, se figur 7.1.

Uddybning af temaer, samfundshensyn, parametre og kriterier

I dette afsnit uddybes de tre temaer og ni tilhørende samfundshensyn. Det beskrives desuden, hvilke kriterier som ligger til grund for, at scenarierne vurderes til at have styrker, svagheder eller middelgode aspekter inden for de ni samfundshensyn.

Klimarådet.

Danmark som inspirationskilde

Temaet *Danmark som inspirationskilde* forholder sig til Danmarks territoriale klimamål, i hvilket omfang bioenergiforbruget i scenariet kan skaleres globalt, samt i hvilket omfang der anvendes teknologiske løsninger med store tekniske og finansielle omkostninger, der kan blive svære at skalere til udviklingslande. De konkrete parametre for hvert hensyn fremgår af tabel 7.2.

Tabel 7.2 Parametre og kriterier for samfundshensyn under temaet *Danmark som inspirationskilde*

Samfundshensyn	Parameter	Svagthed	Middelgodt	Styrke
<i>Klimamål</i>	Territorial CO ₂ e-udledning i 2050 relativt til 1990	Maksimalt 100 pct. reduktion uden international transport	100 pct. reduktion samt international transport	Over 100 pct. reduktion samt international transport
<i>Global skalerbarhed af bioenergiforbruget</i>	GJ bioenergiforbrug pr. person	Over 22 GJ pr. person	17 - 22 GJ pr. person	Mindre end 17 GJ pr. person
<i>Teknologiomkostninger</i>	Kvalitativ vurdering af niveauet for scenariernes omkostninger, som skal finansieres	Lille anvendelse af dyre anlæg og produkter	Moderat anvendelse af dyre anlæg og produkter	Stor anvendelse af dyre anlæg og produkter

Anm.: Samfundshensynet *Teknologiomkostninger* afspejler ikke, at et potentielt velfærdstab for forbrugere, der fx reducerer deres forbrug af luftfart som en løsning på at opnå klimamålene. Ulempen ved omstillingselementer bestående i forbrugsændringer, med få eller ingen tekniske og finansielle omkostninger, afspejles til dels i samfundshensynet *Risiko for manglende accept af omstillingen*.

Kilde: Klimarådet.

I vurderingen af *Klimamål* er grænsen mellem en middelgod vurdering og en svagthed sat ved 100 pct. reduktion af udledningerne sammenlignet med 1990, samt om der tages hånd om den internationale transports CO₂-udledninger. Kriteriet for at blive vurderet til at have en styrke er sat ved en reduktionen over 100 pct., inklusiv 100 pct. reduktion af den internationale transports CO₂-udledninger. Non-CO₂-effekter fra flystriber er ikke med i opgørelsen. Det vil være yderligere fordelagtigt også at tage hånd om disse udledninger.

I vurderingen af *global skalerbarhed af bioenergiforbruget* opgøres det danske forbrug af bioenergi pr. person. Hvis Danmark opnår sine klimamål gennem et højt forbrug af bioenergi, der ikke vil kunne skaleres globalt, blandt andet af hensyn til biodiversiteten, går Danmark i mindre grad foran andre lande og i højere grad sin egen vej.

Scenarierne vurderes i udgangspunktet relativt, men inddrager studier, der estimerer det globalt bæredygtige niveau for forbrug af bioressourcer til energiformål, jf. figur 7.1. Sammenligningen til andre studier er kun vejledende, da forbrug af bioenergi kan opgøres på forskellige måder. Bioenergiforbruget i hovedrapportens opgørelse i kapitel 3 omfatter ikke energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller forbrug af biogent materiale til biokul. I sammenligning med andre kilder bør forbruget derfor anses som et lavt estimat. Se boks 7.1 for en uddybning.

Klimarådet.

Boks 7.1 Bioenergiforbruget omfatter ikke energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller forbrug af biogent materiale til biokul

Bioenergiforbruget er i hovedrapportens kapitel 3 opgjort som det direkte forbrug af biogene produkter i form af fast biomasse, rapsolie, biogas og pyrolysegas og -olie til energiformål. Energiformål er el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Bioenergiforbruget er dermed opgjort ligesom i energistatistikken og i klimafremskrivningen og kan altså sammenlignes direkte med de to første søjler i figur 7.1 herunder, hvor kilden er angivet som KEFM. Bioenergiforbruget inkluderer forbruget til lagring af biogen CO₂ via BECCS, da CO₂ til BECCS fanges ved afbrænding af biomasse til energiformål.

Bioenergiforbruget omfatter derimod ikke energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller forbrug af biogene produkter, der har andre formål end energiformål. Biomasse, der bruges til produktion af tøj, plastic, materialer og biokul medregnes således ikke i bioenergiforbruget. Træprodukter som møbler og byggematerialer vil dog efter endt anvendelse blive til træaffald, hvoraf 75 pct. kan bruges til energi. Hvis man fx medregner energiindholdet i de biomasser, der indgår som input til pyrolyseprocessen, og dermed inkluderer energitabet ved pyrolyseprocessen samt produktion af biokul, viser en indikativ beregning, at forbruget af bioressourcer siger med omkring 1 – 6 GJ pr. person afhængigt af scenarie. Desto mere pyrolyse, der er i et scenarie, desto mere stiger forbruget. Der er ikke foretaget samme indikative beregning for energitab i biogas.

I sammenligning med andre kilder i figur 7.1 bør forbruget i scenarierne anses som et lavt estimat. Udeladelsen af energitabet i biogas- og pyrolyseprocesser og forbruget af biogent materiale til biokul ændrer dermed ikke ved konklusionen om, at ingen af scenarierne har et bioenergiforbrug, der ligger inden for det globalt bæredygtige forbrug.

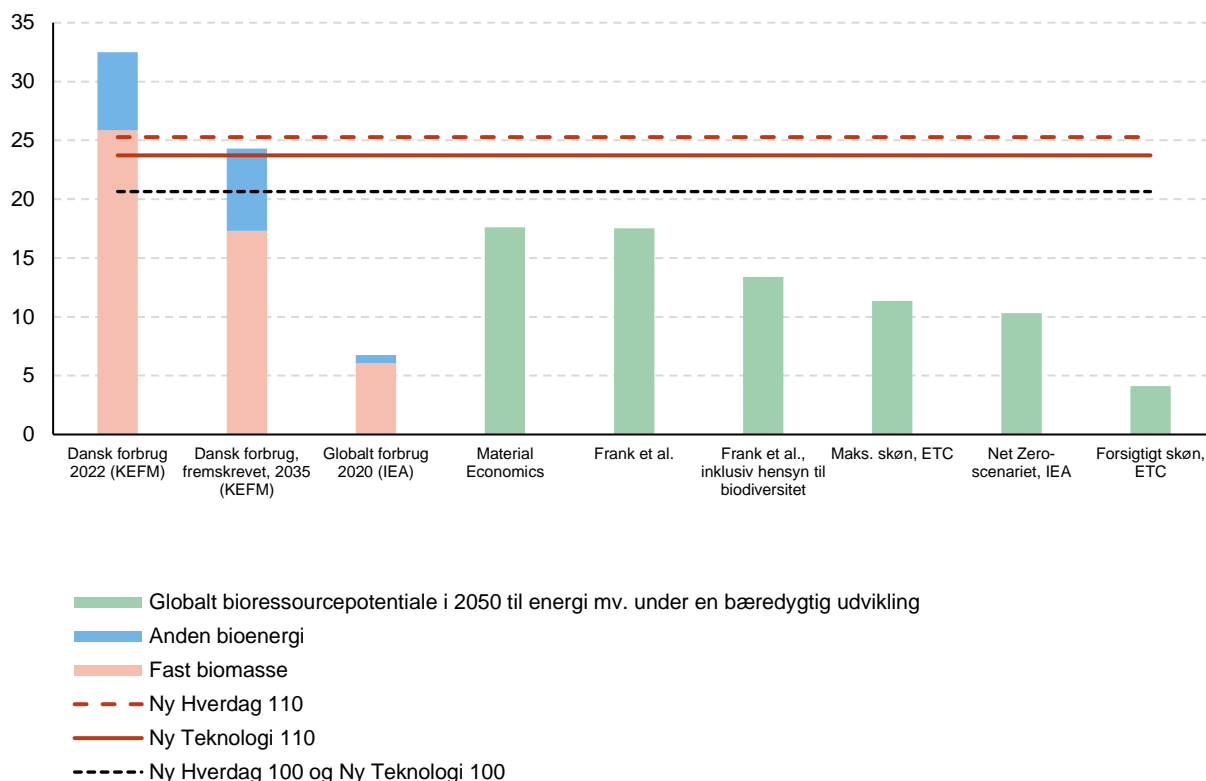
Det europæiske klimaråd har i en rapport fremhævet forskning som viser, at et globalt bæredygtigt forbrug ikke bør overstige 17 GJ pr. indbygger. Tallet er muligvis kun 13 GJ pr. person, hvis FN's biodiversitetskonvention skal kunne gennemføres.²⁶ Se også figur 7.1 med yderligere estimater for det globalt bæredygtige niveau.

Derfor skal scenarierne i analysen have et bioenergiforbrug under 17 GJ pr. person, for at det kan vurderes som en styrke. Ingen af scenarierne når under dette niveau, hvorfor scenarierne med det laveste niveau vurderes som middelgode inden for dette samfundshensyn.

De to scenarier, som når 100 pct. reduktion, bruger 21 GJ bioenergi pr. indbygger, mens de to scenarier, som når 110 pct. reduktion, bruger 24-25 GJ pr. indbygger. Kriteriet der adskiller vurderinger af svagheder fra middelgode resultater placeres derfor mellem disse to niveauer. Disse middelgode resultater, relativt set, kan dog ikke siges at være middelgode i absolut forstand i lyset af estimaterne for det globalt bæredygtige niveau.

Klimarådet.

GJ pr. indbygger



Figur 7.1: Dansk forbrug af bioenergi og estimater for det globale potentiale under en bæredygtig udvikling

Anm. 1: De to første søjler viser bioenergiforbruget i Danmark i 2022 og i 2035 pr. indbygger ifølge *Klimastatus og -fremskrivning 2024*. Bioenergiforbruget er forbruget af biomasse, flydende biobrændstoffer, pyrolyseprodukter og biogas til energiformål. Konverteringstab ved produktion af pyrolyseprodukter og biogas fremgår ikke. Den tredje søjle viser det globale bioenergiforbrug pr. indbygger i 2020.

Anm. 2: De grønne søjler viser forskellige bud på størrelsen af en bæredygtig produktion af biomasse i 2050. Nogle af disse (Frank et. al. og IEA) omtaler det som et bæredygtigt potentiale til bioenergi, mens ETCs potentiale angives at skulle dække forbruget af biomasse til både energi og andre formål fx materialer. De grønne søjler er forbruget af primære ressourcer, det vil sige inklusive eventuelle konverteringstab.

Anm. 3: De vandrette linjer angiver forbruget af bioenergi i scenarierne. Konverteringstab ved biogas og pyrolyseproduktion og forbrug af biomasse til biokul indgår ikke. Hvis konverteringstab og forbruget af biomasse til biokul blev medregnet ville det øge forbruget af bioressourcer i scenarierne, hvorved forbruget ville fjerne sig mere fra det globalt bæredygtige potentiale.

Kilder: Material Economics²⁷, Frank et al.²⁸, Energy Transmissions Committee (ETC)²⁹, International Energy Agency (IEA)³⁰, Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet³¹ og Klimarådet.

Samfundshensynet om *teknologiomkostninger* er inkluderet for at belyse, hvilke scenarier der i højere grad kan give inspiration til lande, som i forhold til Danmark har mindre købekraft, dårligere finansielle vilkår og mindre politisk vilje til at finansiere klimatiltag. Hvis scenarierne anvender dyre teknologiske løsninger til at opnå klimamålene, kan der være mindre sandsynlighed for, at andre lande, særligt udviklingslande, vil finde inspiration i vores omstilling. Det kan fx involvere en risiko for at udviklingslande kommer til at flyve på samme niveau som Danmark i Ny Teknologi-scenarierne, men uden at anvende grønne brændstoffer eller effektive kompensationsordninger. Her kan scenarier med adfærsændringer have en fordel, om end de også kan medføre nyttetab ved at mindske forbruget af udvalgte varer og services, fx ved at flyve mindre.

Klimarådet.

Direkte globale effekter

Temaet *direkte globale effekter* handler i denne analyse om Danmarks bidrag til udviklingen af klimavenlig teknologi, potentielle nettobidrag med ressourcer til udlandet og om risikoen for kulstoflækage til udlandet. Kriterierne for vurderingen af hvert hensyn kan findes i tabel 7.3.

Tabel 7.3 Parametre og kriterier for samfundshensyn under temaet *direkte globale effekter*

Samfundshensyn	Parameter	Svagthed	Middelgodt	Styrke
<i>Udvikling af klimavenlig teknologi</i>	Kvalitativ vurdering af behovet for teknologiudvikling	Lavt behov	Middelstort behov	Stort behov
<i>Potentielt nettobidrag af fødevarer og foder til udlandet</i>	Potentiel nettoeksport af fødevarer og foder (kiloton protein)	Under 0 kt	0 - 300 kt	Over 300 kt
<i>Potentielt nettobidrag af energi til udlandet</i>	Potentiel nettoeksport af energi (PJ)	Under 0 PJ	0 - 400 PJ	Over 400 PJ
<i>Lækagerisiko</i>	Kvalitativ vurdering af risikoen for at scenariet flytter udledninger til udlandet	Høj afhængighed af adfærdsændringer i udlandet	Middelstor afhængighed af adfærdsændringer i udlandet	Lav afhængighed af adfærdsændringer i udlandet

Kilde: Klimarådet

I vurderingen af samfundshensynet *udvikling af klimavenlig teknologi* foretages et kvalitativt skøn af, hvor stor en andel af scenariets reduktioner, som forudsætter en betydelig teknologiudvikling. Det vurderes dermed, i hvilket omfang yderligere teknologiudvikling er påkrævet, for at teknologierne er klar til anvendelse i stor skala. Behovet for teknologiudvikling medfører både en teknologirisiko for Danmarks omstilling, som uddybes nedenfor, samt bedre muligheder for at Danmark kan bidrage til den globale teknologiudvikling. Vurderingerne af svagheder, styrker og middelgode aspekter baseres på disse skøn samt ved en sammenligning af scenarierne. Det er værd at bemærke, at teknologiernes anvendelse skal spredes ud globalt, for at de kan have en stor klimaeffekt. Parisaftalen har af samme årsag et afsnit om behovet for teknologioverførsel til udviklingslande.

Der indgår to samfundshensyn relateret til Danmarks potentielle nettobidrag af centrale ressourcer til udlandet i form af fødevarer og foder samt energi. I den offentlige debat nævnes undertiden samfundsmæssige hensyn om, at vi i Danmark bør benytte vores gunstige geografiske forhold til at bidrage til udlandets omstilling med grøn energi og fødevarer, så udlandet ikke selv skal forsyne sig med disse ressourcer under vanskeligere vilkår. Der indgår fx en politisk målsætning i den brede aftale om power-to-X-strategien, om at Danmark skal være nettoeksportør af grøn energi i 2030.³²

Analysemetoden tillader vurdering af potentielle nettobidrag af to centrale typer ressourcer, der giver energi til mennesker, dyr og maskiner, henholdsvis fødevarer og foder samt energi. I 2050 antages al Danmarks produktion og eksport af energi at være fossilfri og hovedsagligt bestå af elektricitet og brint produceret af vedvarende energi, hvorfor der ikke er behov for at sondre eksplicit mellem grøn og fossil energi i vurderingerne. Se eventuelt afsnit 3.6.1 og 3.6.2 i hovedrapporten for en videre forklaring af, hvorfor netop foder, fødevarer og energi er i fokus i denne analyse.

Samfundshensynet *potentielt nettobidrag af fødevarer og foder til udlandet* vurderes på den potentielle nettoeksport givet af produktionsoverskuddet fra den hjemlige produktion og import, som ikke forbruges i Danmark. Den opgøres i kiloton (kt) proteinindhold. Proteinindholdet bruges som parameter for vurderingen, mens energiindholdet også oplyses som supplerende information. I udgangspunktet er vurderingerne relative for scenarierne, men da der sker en markant forbedring af den potentielle nettoeksport af proteiner i samtlige scenarier relativt til 2020, vurderes ingen scenarier til at have en svaghed inden for dette samfundshensyn - se også figur 3.8 og 3.9 i rapportens kapitel 3. Da der er relativt stor afstand fra ressourcebidraget af proteiner i Ny Teknologi 100 (210 kt) op til de større bidrag i de andre tre scenarier (470-580 kt), placeres kriteriet for at have en relativ styrke imellem disse to niveauer.

Et lignende resultat er tilfældet for det *potentielle nettobidrag af energi til udlandet*, som opgøres samlet i petajoule (PJ). Energiindholdet i fødevarer og foder indregnes ikke som energiressourcer, men oplyses som supplerende information til

Klimarådet.

det forrige samfundshensyn. Selv scenarierne med mindst potentiel nettoeksport af energi medfører en markant forøgelse relativt til 2020, jf. figur 3.10 i rapporten. Derfor vurderes ingen scenarier til at have en svaghed inden for dette samfundshensyn. De fire hovedscenarier grupperer sig på to niveauer. Ny Teknologi-scenarierne har omtrent samme potentielle nettoeksport på 290-320 PJ, mens Ny Hverdag-scenarierne har en potentiel nettoeksport på omtrent 460-470 PJ energi. Kriteriet for at have en relativ styrke placeres derfor imellem disse to niveauer.

I vurderingen af *lækagerisiko* foretages der en kvalitativ vurdering af risikoen for, om scenariet vil medføre, at udledningerne øges i udlandet som følge af Danmarks omstilling. Lækagerisikoen vurderes til at være højere i scenarier med strukturel omstilling, særligt hvor eksporten af animalske produkter reduceres. Her er den globale klimaeffekt afhængig af, at omverdenens forbrug ændres strukturelt ligesom i Danmark. Risikoen beror altså på en afhængighed af forandringer i udlandet, som Danmark vanskeligt kan påvirke. I det omfang andre lande frem mod 2050 arbejder for at nå klimamål, der er i overensstemmelse med Parisaftalen, vil denne risiko mindskes.

Endvidere er det muligt, at lækagerisikoen generelt set vil være højere i scenarierne med en målsætning om 110 pct. reduktion, uanset om det er i Ny Teknologi- eller Ny Hverdag-scenarierne, da denne målsætning er højere end den generelle reduktionsmålsætning i EU for 2050. Dette forhold kan på den ene side medføre, at reduktioner ud over den fælleseuropæiske målsætning i Danmark vil foranledige en tilsvarende mindre reduktionsindsats i resten af EU, som følge af kvotehandelssystemets logik. På den anden side kan EU's klimamål blive justeret, hvilket forøgelsen af 2030-målet fra 40 pct. til 55 pct. vidner om. Dermed kan der være en effekt af at være et foregangsland med et højt klimamål, som kan mindske lækagerisikoen, hvis det samtidig bidrager til at hæve internationale ambitioner. Denne overvejelse indgår ikke i vurderingerne, men er værd at være opmærksom på.

Barrierer for Danmarks langsigtede omstilling

Temaet *barrierer for Danmarks langsigtede omstilling* handler om samfundshensynene om at begrænse *teknologirisiko* og *risiko for manglende accept af omstillingen*. Disse to mulige barrierer kan sænke hastigheden i omstillingen og i værste fald føre til, at klimamålene ikke nås i tide. De konkrete parametre for hvert hensyn kan findes i tabel 7.4.

Tabel 7.4 Parametre og kriterier for samfundshensyn under temaet *barrierer for langsigtet omstilling*

Samfundshensyn	Parameter	Svaghed	Middelgodt	Styrke
<i>Teknologirisiko</i>	Kvalitativ vurdering af risiko ved afhængighed af teknologiudviklingen	Høj risiko	Middelstor risiko	Lav risiko
<i>Risiko for manglende accept af omstillingen</i>	Kvalitativ vurdering af forandrede produktions- og forbrugsmønstre	Høj risiko: Omfattende forandringer	Middelstor risiko: Middelstore forandringer	Lav risiko: Få og mindre forandringer

Anm.: Scenarier hvor *Udvikling af klimavenlig teknologi* er en styrke har også en svaghed i form af *Teknologirisiko*.

Kilde: Klimarådet.

Vurderingen af *teknologirisiko* trækker på den samme vurdering som mulighederne for *udvikling af klimavenlig teknologi*. Det behandles altså som to sider af samme mønt, at scenarier med større efterspørgsel efter teknologiudvikling også er mere afhængige af, at teknologiudviklingen bliver succesfuld.

Risikoen for en manglende accept af omstillingen vedrører risikoen for at omstillingen bremses på grund af manglende accept af ændringer i forbrugsmønstre, strukturel omlægning af landbruget og arealanvendelsen og lokal modstand mod flere tekniske anlæg. Samfundshensynet afspejler fordelene ved at teknologiske omstillingselementer i udgangspunktet ikke ændrer på befolkningens hverdag, om end det vante forbrug kan blive dyrere af øgede udgifter til ny teknologi. Omstillingselementer, der beror på strukturelle ændringer, kan derfor stille større krav til befolkningens forandringsvillighed.

På samme vis som *teknologirisiko* kan imødegås med en strategisk indsats for at modne teknologier, kan *risiko for manglende accept af omstillingen* imødegås gennem en langsigtet indsats for at kommunikere om behovet for og

Klimarådet.

understøtte en normalisering af mere klimavenlige livsstile, som Klimarådet fx har belyst i analysen *Klimavenlig mad og forbrugeradfærd* fra 2021.

Den fremtidige risiko for manglende accept af omstillingen afhænger af aspekter, som ikke med sikkerhed kan inkluderes i vurderingen. For eksempel hvordan sociale normer udvikler sig, hvilke virkemidler, der tages i brug for at skabe forandringer, hvordan klimaforandringerne manifesterer sig, samt hvordan omstillingselementer implementeres.³³

7.2 Vurdering af hovedscenarierne

Dette afsnit uddyber vurderingen af scenarierne, som findes i hovedrapportens afsnit 4.2. Afsnittet gennemgår vurderingen af scenarierne én for én på baggrund af Klimarådes anvendte kriterier, som er uddybet i afsnit 7.1.

Ny Hverdag 100

I scenariet Ny Hverdag 100 er det i høj grad strukturelle ændringer af produktionen og forbrugsmønstre, der får scenariet i mål med reduktionen på 100 pct. fra de 90 pct., som opnås gennem de kendte omstillingselementer. En væsentlig faktor er en markant nedgang i antallet af husdyr i den animalske produktion og en tilsvarende omlægning til plantebaseret kost i Danmark. Omstillingselementerne fremgår af tabel 6.1-6.6 i kapitel 6.

Scenariet har lav teknologirisiko og bidrager med mange ressourcer til udlandet

Ny Hverdag 100 har fire styrker særligt relativt til Ny Teknologi-scenarierne:

- Lavere teknologiomkostninger
- Lavere teknologirisiko
- Større potentielt nettobidrag af energi til udlandet
- Større potentielt nettobidrag af fødevarer og foder til udlandet

De fire styrker deles med Ny Hverdag 110, da de typisk har store forskelle i forhold til Ny Teknologi-scenarierne, men Ny Hverdag 100 er i de fleste tilfælde bedst på de udvalgte parametre.

Den lave teknologirisiko og de lave teknologiomkostninger er nært forbundne styrker. Det skyldes, at scenariet i mindre grad end de andre satser på teknologier, som endnu ikke er modne til stor udbredelse i dag. Dermed er der mindre risiko for, at omstillingen bremses af, at teknologier som fx DAC ikke bliver skalerbare i praksis eller økonomisk attraktive at benytte. Samtidigt medfører adfærsændringerne, at der blandt andet ikke skal afholdes lige så store udgifter til grønt brændstof, som forventeligt bliver markant dyrere end fossilt brændstof, samt at der vil være mere areal tilgængeligt, der kan bruges til biologisk optag af CO₂.

En tredje styrke ved scenariet er, at det har det største produktionsoverskud af fødevarer og foder, hvilket potentielt kan føre til en nettoeksport til udlandet. Sammenlignet med de andre tre scenarier har Ny Teknologi 100 et markant mindre produktionsoverskud. I Ny Hverdag 100 er produktionsoverskuddet næsten tre gange så stort målt i proteinindhold (580kt) som i Ny Teknologi 100 (210 kt). Dette skyldes den strukturelle omlægning af landbruget fra animalske til plantebaserede produkter, som både fjerner behovet for import af foder, og som gør det muligt at eksportere flere plantebaserede fødevarer.

Den fjerde styrke ved scenariet er det store produktionsoverskud af energi. I scenariet er der en potentiel nettoeksport på 460 PJ, hvoraf en tredjedel er elektricitet og to tredjedele er brint. For alle scenarier er produktionen af strøm og brint baseret på Energistyrelsens analyseforudsætninger for Energinets langsigtede planlægning, hvorfor produktionsoverskuddet i scenarierne primært varierer som følge af forskelle i forbruget. Ny Hverdag-scenarierne har et mindre energiforbrug end de teknologiske scenarier og derfor også et tilsvarende større potentiale for nettoeksport af energi. Det skyldes, at der i scenariet blandt andet er et mindre energiforbrug til luft- og skibsfart og at større produktion af biobrændstoffer i scenariet frigiver mere brint til at blive eksporteret frem for at gå til power-to-X-brændstoffer til Danmarks internationale transport. Fraværet af DAC medfører også et mindre energiforbrug.

Klimarådet.

Scenariet medfører færre muligheder for teknologiudvikling

Scenariets primære svaghed består i, at scenariets omstilling i mindre grad end i de andre scenarier giver anledning til udvikling af klimavenlig teknologi, som også kan komme andre lande til gavn. De strukturelle ændringer af produktion og forbrug fjerner behovet for at bidrage til udviklingen af fx kunstige fødevarer og DAC, hvorfor der i mindre grad kommer en efterspørgselseffekt på teknologiudviklingen fra det danske marked.

Klimaeffekten har en vis lækagerisiko

Der vil være en større lækagerisiko ved de strukturelle ændringer af forbruget og produktionen end i Ny Teknologi 100. Hvis andre lande fx skruer op for deres kødproduktion som følge af, at Danmark reducerer sin produktion, vil der kunne opstå øgede udledninger fra landbruget i udlandet som konsekvens af reduktionerne i Danmark. Danmark kan eksportere markant flere fødevarer i Ny Hverdag 100, da man omlægger til mere plantebaserede fødevarer, som kræver mindre areal at producere. Der er dog risiko for lækage, hvis udlandet ikke ændrer deres forbrug til at efterspørge den mere plantebaserede fødevarereproduktion.

Den globale klimaeffekt af scenariet afhænger derfor af, om den globale fødevarereproduktion og -forbrug følger med Danmark i en plantebaseret retning. Om det sker frem mod 2050, kan ikke vides på nuværende tidspunkt. På den ene side tilskynder EU's klimapolitik og Parisaftalen til en sådan udvikling, og hvis andre lande tilstræber at opfylde ambitiøse klimamål, vil de få svært ved at øge deres animalske produktion, da det i så fald kræver tilsvarende drivhusgasreduktioner i andre sektorer. Imod taler, at verdens landes klimaforpligtelser for 2030 og løfter om nettonuludledninger fortsat er utilstrækkelige i forhold til Parisaftalens mål, samt at den nuværende politik ikke kan forventes at indfri disse forpligtelser og løfter.³⁴

Under alle omstændigheder er lækagerisikoen i scenariet mindre end i Ny Hverdag 110, hvorfor Ny Hverdag 100 vurderes som middelhøjt inden for dette samfundshensyn. Det samme er gældende for risikoen for manglende accept af omstillingen, da det i disse scenarier er tiltagende vigtigt at realisere forbrugsændringer i befolkningen.

Ny Teknologi 100

I scenariet Ny Teknologi 100 anvendes der nye teknologiske løsninger til at gå fra 90 pct. reduktion ved hjælp af de kendte omstillingselementer til 100 pct. reduktion. CCS på punktkilder og DACCS giver begge væsentlige bidrag til at nå klimamålet. Pyrolyse, produktion af kunstigt kød og mælk, fodertilsætningsstoffer og nitrifikationshæmmere bidrager også, men i begrænset omfang. Produktionen af kunstigt kød og mælk matches af en tilsvarende forbrugsnedgang i animalske fødevarer. Omstillingselementerne i scenariet fremgår af tabel 6.1-6.6 i kapitel 6.

Scenariet har de mindste risici for kulstoflækage og manglende accept

Der er to styrker, som adskiller dette scenarie fra resten af scenarierne:

- Lavere risiko for kulstoflækage
- Lavere risiko for manglende accept af omstillingen

Styrkerne har to årsager. For det første hjælper teknologiske løsninger med at fastholde produktion i Danmark og dermed mindskes risikoen for, at udledningerne flytter til udlandet.

For det andet mindsker de teknologiske løsninger også behovet for strukturelle omstillinger af forbrugs- og produktionsmønstre, der kan udfordre den sociale accept af omstillingen ved at kræve markante ændringer af befolkningens hverdag og samfundets arealanvendelse.

Et tredje nævneværdigt aspekt ved scenariet er, at den relativt store hjemlige energiproduktion kan give et stort potentielt nettobidrag af klimavenlig energi til udlandet gennem eksport af CO₂-neutral brint og elektricitet på 320 PJ. Det er en markant forbedring relativt til i dag, men over 100 PJ mindre end i Ny Hverdag-scenarierne, hvorfor det vurderes som et middelhøjt aspekt ved scenariet.

Klimarådet.

Der kan være andre kilder til modstand end ændringer af produktion og forbrug

Selv om scenariet vurderes at have lav risiko for manglende accept af omstillingen på grund af færre strukturelle ændringer af, hvad der produceres og forbruges, forsvinder udfordringen ikke helt i dette scenarie. Der kan fx opstå lokal modstand mod flere tekniske anlæg i landskabet, som Ny Teknologi-scenarierne har større behov for, fx i form af DAC-anlæg og øget CO₂-lagring, der potentielt kan møde modstand ved CO₂-lagring på land. Der er i øvrigt behov for flere tekniske anlæg i alle scenarierne til blandt andet CCS, elektrificering, power-to-X, biogas, DAC og pyrolyse, men omfanget varierer mellem scenarierne.

Der kan også udbredes en mere principiel modstand mod de teknologiske tiltag inden for landbrug og fødevarerforbruget i Ny Teknologi-scenarierne. Det kan eksempelvis være modstand mod brug af fodertilsætningsstoffer af hensyn til dyrevelfærd, modstand mod at spise kunstigt kød og mælk, modstand mod nitrifikationshæmmere af miljøhensyn, eller mod produktionsmetoder, som fastholdes i landbruget. Klimarådets analyse *Danmarks fremtidige arealanvendelse* har vist, hvordan en omlægning af landbrugs- og skovarealet kan bidrage til klimamålene, biodiversitetsmålene og et bedre vandmiljø. I denne analyse indgår der ikke beregninger for vandmiljøet, men de teknologiske scenarier kan i mindre grad end Ny Hverdag-scenarierne forventes at fremme den økologiske tilstand i det danske vandmiljø på grund af færre strukturelle omlægninger.³⁵

Scenariet har et mindre produktionsoverskud af fødevarer og foder

Ny Teknologi 100 har et mindre produktionsoverskud af fødevarer og foder sammenlignet med de andre scenarier. Det betyder, at der ikke er potentiale for at nettoeksportere lige så store mængder fødevarer og foder i dette scenarie. Hovedårsagen bag den lavere potentielle eksport er, at der fortsat er en høj animalsk produktion i landbruget, og at opdrættet af dyr kræver meget foder og areal hertil.

Der sker dog i scenariet alligevel en betydelig forbedring af den potentielle nettoeksport af fødevarer og foder relativt til i dag, hovedsageligt på grund af den antagne udbyttestigning for afgrøder og skift til højtydende græs i landbruget, samtidig med at en mindre nedgang i husdyrproduktionen reducerer behovet for foder og frigør areal til plantebaseret fødevarerproduktion. Produktionsoverskuddet, som kan eksporteres, er dog markant mindre end i de tre andre scenarier, hvorfor det vurderes til at være et middelgodt aspekt ved scenariet.

Ny Hverdag 110

I scenariet Ny Hverdag 110 anvendes yderligere strukturelle ændringer, der øger reduktionen af udledninger til 110 pct. fra de 100 pct., opnået gennem kendte omstillingselementer og Ny Hverdag 100. Der anvendes også mere teknologi til at frembringe nok negative udledninger gennem lagring af biogent kulstof, som tilvejebringes gennem strukturel omstilling. Der sker en større nedgang i antallet af husdyr og tilsvarende omlægning til plantebaseret kost i Danmark og udlandet. Dette frigør areal, hvor der plantes mere produktionsskov end i de andre scenarier, og der dyrkes energiafgrøder for at levere negative udledninger gennem BECCS og pyrolyse. Omstillingselementerne i scenariet fremgår af tabel 6.1-6.6 i kapitel 6.

Scenariet har et højt klimamål og giver et stort bidrag til udlandets ressourcer

Ny Hverdag 110 har fire relative styrker:

- Højere klimamål
- Større potentielt nettobidrag af fødevarer og foder til udlandet
- Større potentielt nettobidrag af energi til udlandet
- Lavere teknologirisiko

Den første styrke består i, at det mere ambitiøse klimamål, som deles med Ny Teknologi 110, i højere grad positionerer Danmark som en inspirationskilde for andre lande i tillæg til den styrkede direkte klimaeffekt af at reducere udledningerne.

I scenariet har Danmark det største produktionsoverskud af energi (470 PJ), og det næststørste produktionsoverskud af fødevarer og foder (510 kt protein), som potentielt kan eksporteres. Reduktionen i den animalske produktion muliggør en

Klimarådet.

stor fødevareeksport af plantebaserede fødevarer, selv om en større andel af arealet omlægges til bioenergiagrøder og skov i dette scenarie. Bioenergiagrøderne bruges til at frembringe negative udledninger ved hjælp af BECCS og pyrolyse.

Scenariet har mindre teknologirisiko end begge Ny Teknologi-scenarier

Selv om scenariet i højere grad anvender teknologi til at lagre biogent kulstof end Ny Hverdag 100, vurderes lav teknologirisiko fortsat at være en styrke ved scenariet sammenlignet med de mere umodne teknologier, særligt DAC og kunstige fødevarer, som Ny Teknologi-scenarierne er afhængige af.

Scenariet opnår negative udledninger ved at lagre biogen CO₂, hvilket stiller større krav til udvikling og implementering af CCS-udstyr og -infrastruktur, samt permanenten af lagret biokul fra pyrolysning end i de andre scenarier. Det vil særligt være afgørende at opnå høje fangstrater på CCS-anlæg som forudsat i scenariet samt omkostningsreduktioner på disse anlæg. Hvis disse fremskridt inden for CCS ikke realiseres, kan bioressourcerne i stedet pyrolyseres. Det er imidlertid kun cirka halvdelen af det biogene kulstof, som lagres i biokul, hvorfor der kan blive behov for yderligere arealomlægninger for at producere nok biomasse til pyrolysning. Omvendt kan en bedre evne til at udnytte pyrolyseprodukter, fx i grønne brændstoffer, fortrænge anvendelse af andet biogent kulstof og derved indirekte bidrage til at spare på arealanvendelsen.

Scenariet har et højt biomasseforbrug, lækagerisiko og udfordrer samfundets vaner

Der er fire svagheder ved scenariet:

- Højere bioenergiforbrug
- Højere lækagerisiko
- Større risiko for manglende accept af omstillingen
- Mindre muligheder for at bidrage til udviklingen af klimavenlig teknologi

En svaghed ved scenariet er, at forbruget af bioressourcer til energi på 25 GJ pr. person er højere end scenarierne med 100 pct. reduktion, som begge bruger 21 GJ pr. person. Forbruget i dette scenarie overstiger dermed i større grad estimaterne for et globalt bæredygtigt niveau, som vist i baggrundsnotatet. Dette skyldes, at der anvendes afbrænding og pyrolysning af biomasse til at opnå permanent lagring af biogen CO₂, så målet om nettonegative udledninger kan nås.

Danmarks energisystem i dette scenarie kan derfor vanskeligere siges at være et forbillede, som bæredygtigt kan skaleres til alle andre lande. Det høje bioenergiforbrug i scenariet er muliggjort af, at Danmark har et stort potentiale for at producere biomasse sammenlignet med mange andre lande. Det betyder, at vi både kan afsætte areal til biodiversitet og selv forsyne et relativt stort bioenergi behov.

Lækagerisikoen er højere end i andre scenarier

For det andet, har scenariet en høj lækagerisiko, fordi der finder en stor reduktion af husdyrproduktionen sted, samtidig med at den plantebaserede fødevarerproduktion stiger. Danskernes kost bliver tilsvarende omlagt til en plantebaseret kost, men en stor del af den forøgede plantebaserede produktion vil skulle eksporteres. Det globale klimaaftryk af den danske omstilling bliver dermed afhængig af, at udlandet også ændrer kostvaner, så produktionen af kød mindskes og ikke blot flytter til udlandet.

Scenariet indebærer større ændringer i forbrugsvaner

For det tredje er det en relativ svaghed, at scenariet i højere grad udfordrer forbrugsvanerne i samfundet, hvilket kan risikere at føre til manglende accept i befolkningen. Det vil kræve en mere omfattende indsats at understøtte normaliseringen af blandt andet nye rejse- og spisevaner samt omstilling af mindre dele af arbejdsstyrken til nye brancher.

Scenariet medfører mindre behov for teknologiudvikling

Endelig er der en svaghed i, at scenariets mindre brug af klimavenlige teknologier end Ny Teknologi-scenarierne, giver mindre muligheder for at bidrage til udviklingen af klimavenlig teknologi pga. mindre efterspørgsel efter denne type omstillingselementer. Selvom det vurderes til en relativ svaghed, er mulighederne bedre i dette scenarie end i Ny Hverdag 100, da der også i dette scenarie anvendes mere CCS-teknologi og pyrolyse til at skabe lagring af biogent CO₂.

Klimarådet.

Ny Teknologi 110

I scenariet Ny Teknologi 110 anvendes teknologiske løsninger til at øge reduktikonen af udledninger til 110 pct. fra de 100 pct. reduktion, som opnås ved hjælp af omstillingselementerne i Ny Teknologi 100. Løsningerne indbefatter blandt andet forøget CO₂-fangst fra punktkilder, en markant større mængde DACCS og en betydeligt større produktion og forbrug af kunstigt kød og mælk. Produktionen af kunstigt kød og mælk modsvares af en tilsvarende produktionsnedgang i antallet af husdyr. Omstillingselementer fremgår af tabel 3.2-3.5 i kapitel 3.

Scenariet har et højt klimamål og de mest gunstige vilkår for teknologiudvikling

Dette scenarie har tre styrker relativt til de andre scenarier:

- Højere klimamål
- Bedre vilkår for udvikling af klimavenlig teknologi
- Større produktionsoverskud af fødevarer og foder

På samme vis som scenariet Ny Hverdag 110 har dette scenarie en styrke i, at klimamålet på 110 pct. øger Danmarks rolle som inspirationskilde for andre lande sammenlignet med scenarierne, som opnår 100 pct. reduktion.

Den anden styrke er, at scenariet giver de bedste betingelser for klimavenlig teknologisk udvikling i Danmark. Ved at satse på nye teknologier, som er umodne i dag, kan scenariet give bedre betingelser for at udvikle disse ved at etablere et marked med efterspørgsel efter teknologierne. Scenariet skiller sig blandt andet ud ved at anvende mere DAC og CCS, flere kunstige fødevarer, mere elektrificering og mere landbrugsteknologi. Dette kan blandt andet skabe learning-by-doing-effekter, når teknologierne udvikles, demonstreres og tages i brug i stor skala.³⁶ Et stærkere dansk bidrag til udviklingen af klimavenlig teknologi vil også komme andre lande til gavn, jf. analysen *Danmarks globale klimaindsats*.³⁷

For det tredje har scenariet et stort produktionsoverskud af fødevarer og foder med et proteinindhold på 470 kt. Det er mindre end Ny Hverdag-scenarierne (510-580 kt), men markant større end Ny Teknologi 100 (210 kt protein), hvorfor det også vurderes til at være en relativ styrke ved dette scenarie. Produktionsoverskuddet fremkommer særligt på grund af omlægningen af det animalske landbrug.

DAC og kunstige fødevarer medfører stor teknologirisiko og større teknologiomkostninger

Ny Teknologi 110 har tre svagheder sammenlignet med de andre scenarier:

- Højere teknologirisiko
- Højere teknologiomkostninger
- Højere bioenergiforbrug

De første to svagheder skyldes især afhængigheden af at skulle indfange og lagre cirka 9 mio. ton CO₂ ved hjælp af DACCS. DAC-teknologien fungerer i lille skala i dag, men der er risiko for, at teknologien bliver for dyr til, at den i praksis vil blive implementeret i stor skala. Dette er illustreret i boks 4.1 i hovedrapportens kapitel 4. Boksen illustrerer, hvor stor omkostningen til DACCS vil være i de to Ny Teknologi-scenarier under det højeste og laveste prisestimat for 2050, som Klimarådets afsøgning af litteratur har identificeret. Udgifterne til DACCS kompenseres i scenariet blandt andet for en fortsat stor produktion af kød og mælk.

Foruden anvendelsen af DAC, stiller scenariet større krav til teknologiudviklingen inden for kunstige fødevarer, der skal frembringe appetitlige alternativer til kød og mælk til økonomisk attraktive priser. Den større anvendelse af kunstige fødevarer, sammenlignet med Ny Teknologi 100, introducerer desuden en større risiko for manglende accept af omstillingen, da scenariet er afhængigt af forbrugeres villighed til at ændre kosten og spise flere kunstige fødevarer. Disse to forhold vurderes som middelgode aspekter ved scenariet, da Ny Hverdag 110 har større udfordringer inden for disse samfundshensyn.

Endeligt har scenariet som tidligere nævnt også et højt bioenergiforbrug på 24 GJ pr. person. I relation til estimerne for det globalt bæredygtige niveau, som kan findes i figur 7.1, er dette et for stort forbrug til at det kan skaleres globalt.

Klimarådet.

8 Alternative scenarier

Analysen undersøger seks alternative scenarier

Analysens hovedscenarier bygger på en række valg af omstillingslementer og antagelser om teknologiudvikling, forbrugsmønstre, brugen af det danske landareal mv. Hovedscenarierne udspænder et forholdsvis bredt udfaldsrum, som er resultatet af disse valg. Men hvad nu hvis disse antagelser er for optimistiske, eller hvis vi ændrer rammebetingelserne for scenarierne betydeligt? Det belyses med de alternative scenarier.

De alternative scenarier varierer på antagelser og rammebetingelser

Analysen opstiller seks alternative scenarier, som kan betragtes som følsomhedsberegninger for en række valg i hovedscenarierne. En følsomhedsberegning er en genberegning af et scenarie, hvor en antagelse varieres, så det fremgår, hvad antagelsen betyder for resultatet.

Alle seks alternative scenarier (AS) tager udgangspunkt i 110-procentsmålet:

- **AS1: Kombination af Ny Hverdag 110 og Ny Teknologi 110.** Scenariet undersøger, i hvilket omfang behovet for negative udledninger mindskes, hvis der sker en stor strukturel omstilling, samtidig med at ny teknologi bidrager betydeligt til omstillingen. Scenariet er udarbejdet ved at tage udgangspunkt i Ny Hverdag 110 og tilføje en række nye teknologier fra Ny Teknologi 110.
- **AS2: Ny Teknologi 110 uden DAC.** Scenariet undersøger om 110 pct. reduktion kan nås uden DAC og uden en stor strukturel omstilling af samfundet. Scenariet svarer til Ny Teknologi 110 pct. uden brug af DAC. Behovet for negative udledninger imødekommes i stedet af biokul og BECCS.
- **AS3: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om natur.** Scenariet undersøger effekterne af at udelade rammebetingelsen om 30 pct. areal til natur. Det betyder konkret, at landarealet til beskyttet natur reduceres til cirka 14 pct., som i Kendt Omstilling. Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110 pct.
- **AS4: Ny Hverdag 110 uden rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring.** Scenariet undersøger effekterne ved at tillade nettoimport af biomasse i Danmark til erstatning af indenlandsk dyrket biomasse ved at udelade rammebetingelse om ikke at importere bioressourcer til energiformål og kulstoflagring. Scenariet tager udgangspunkt i Ny Hverdag 110 pct.
- **AS5: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om produktion af brændstoffer.** Scenariet undersøger effekterne af, at Danmark ikke skal producere brændstoffer til bunkring til international luft- og skibsfart ved at udelade rammebetingelsen herom. Der produceres derfor kun brændstoffer til indenrigstransport. Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110 pct.
- **AS6: Ny Teknologi 110 med opvejning af plastforbrug og kondensstriber.** Scenariet undersøger betydningen for behovet yderligere fangst af CO₂ og for negative udledninger, hvis Danmark skal indfange kulstof til produktion af den mængde plast, der anvendes i Danmark, og på samme tid kompensere for luftfartens klimapåvirkning fra andet end CO₂ via negative udledninger. Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110 pct.

8.1 Alternativt scenarie 1: Kombination af Ny Hverdag 110 og Ny Teknologi 110

I dette alternative scenarie undersøges det, i hvilket omfang behovet for negative udledninger kan reduceres ved at kombinere strukturelle, adfærdsmæssige og teknologiske omstillingslementer. I scenariet sker der altså både en stor strukturel omstilling, samtidig med at ny teknologi bidrager i betydelig grad. Scenariet illustrerer én mulig kombination ud af mange mulige.

Klimarådet.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

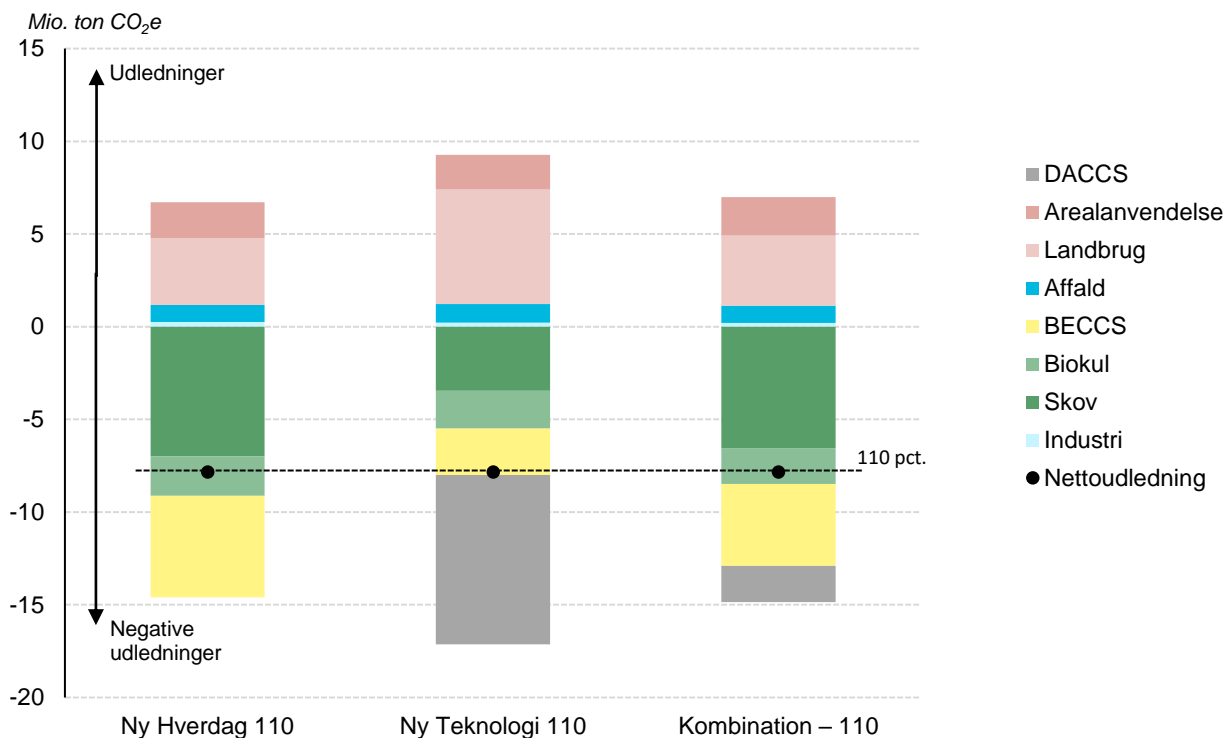
Scenariet tager udgangspunkt i Ny Hverdag 110 og inddrager omstillingselementer fra Ny Teknologi 110. Scenariet indebærer en markant omstilling i det danske landbrug, kostomlægning fra animalske fødevarer til både plantebaserede alternativer og kunstigt kød og mælk og reduktioner i energiforbruget i transportsektoren, i bygninger og i industrien. Der rejses produktionsskov på 350.00 hektar frem for på 500.000 som i Ny Hverdag 110. I scenariet anvendes ny teknologi i udbredt grad, herunder en høj grad af elektrificering i alle sektorer, udbredt brug af CCS og et stort forbrug af kulstoffrie brændstoffer i den internationale skibsfart. Alle konventionelle køer får fodertilsætningsstoffer som Bovaer og fedt, mens halvdelen af de økologiske køer får fedt i foderet.

Da der er tale om en kombination af de to hovedscenarier for 110 pct. reduktion, opnås de negative udledninger både fra skov, biokul og BECCS, der alle involverer biogent kulstof, og ved hjælp af DACCS.

Se afsnit 8.7 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Behovet for DACCS kan mindskes ved en kombineret omstilling

En ambitiøs strukturel omstilling, der ledsages af en udbredt anvendelse af ny teknologi, resulterer i en tilbageværende udledning på omkring 7 mio. ton CO₂e, som vist i figur 8.1. Det er betydeligt lavere end de tilbageværende udledninger i Ny Teknologi 110 på 9,3 mio. ton CO₂e, men en smule højere end i Ny Hverdag 110, hvor der er 6,8 mio. ton CO₂e tilbage i 2050. De lidt højere restudledninger skyldes et større landbrugsareal, da der rejses mindre skov, og dermed flere udledninger fra gødskning og arealanvendelse. Der er derfor fortsat behov for relativt store negative udledninger for at nå 110 pct. reduktion, dog betydelig færre end i Ny Teknologi 110. Det er særligt behovet for DACCS, der mindskes ved en kombineret omstilling i dette alternative scenarie, jf. figur 8.1. I scenariet produceres 2 mio. ton CO₂ negative udledninger ved brug af DACCS, mens dette er helt oppe på omkring 9 mio. ton i Ny Teknologi 110.



Figur 8.1 Udledninger og negative udledninger for hovedscenarier og Alternativt scenarie 1

Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødskning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter.

Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.

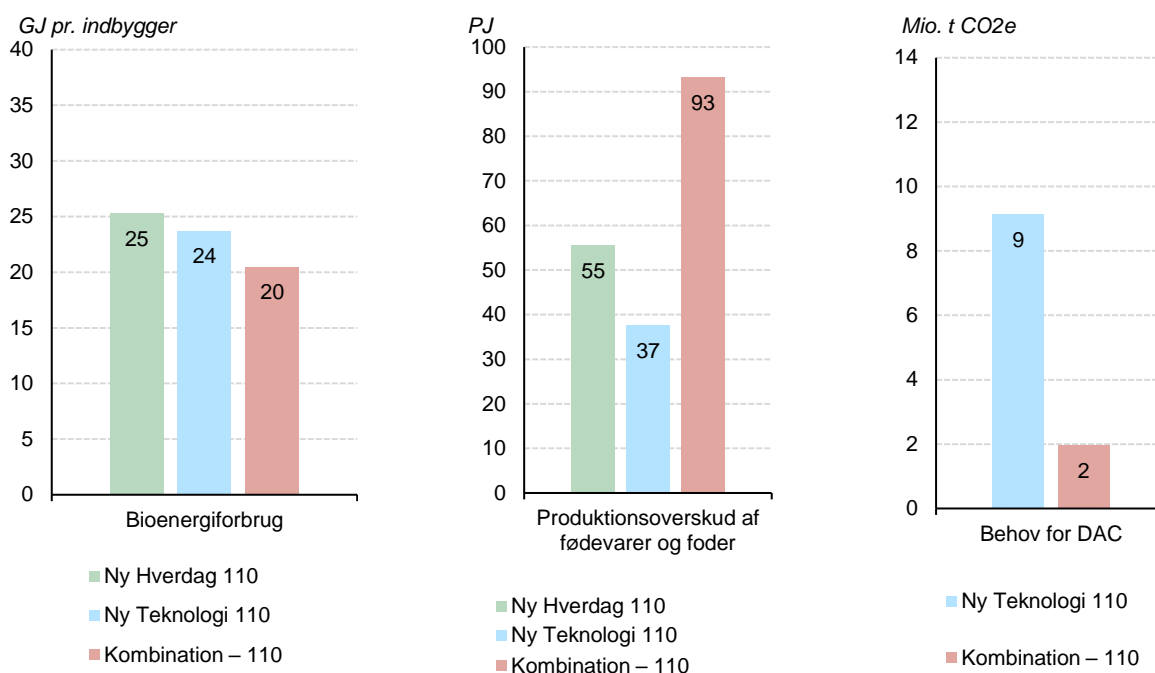
Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Et kombinationsscenario kan reducere forbruget af bioenergi og øge produktionsoverskuddet markant

Kombinationsscenarioet har et mindre bioenergiforbrug pr. indbygger og et markant øget produktionsoverskud af fødevarer og foder målt i energiindhold i forhold til Ny Hverdag 110 og Ny Teknologi 110. Kombinationsscenarioet har desuden et mindsket behov for DACCS i forhold til Ny Teknologi 110. Se figur 8.2.

Klimarådet.



Figur 8.2 Udvalgte konsekvenser ved et scenarie med Kombination af Ny Hverdag 110 og Ny Teknologi 110

Anm.: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilde: Klimarådet.

Scenariet illustrerer, at det er muligt at opnå et større produktionsoverskud af fødevarer, som kan eksporteres til resten af verden, hvis vi kombinerer omstillingselementerne fra Ny Hverdag og Ny Teknologi. Det skyldes, at der er behov for færre negative udledninger end i Ny Teknologi 110, da husdyrproduktionen i dette alternative scenarie er reduceret med 80 pct. som i Ny Hverdag 110. Samtidig er der i dette scenarie både gjort brug af DACCS til at opfylde behovet for negative udledninger og af biologisk baserede negative udledninger. Denne kombination medfører et mindsket bioenergiproduktions- og forbrug og giver plads til en større produktion af fødevarer.

8.2 Alternativt scenarie 2: Ny Teknologi 110 uden DAC

I dette alternative scenarie undersøges det, hvorvidt det er muligt at nå 110 pct. reduktion uden DAC og uden en stor strukturel omstilling i samfundet. Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110, men opnår 110 pct. reduktion ved brug af negative udledninger fra biokul og BECCS frem for DACCS.

Dette scenarie illustrerer altså de mulige konsekvenser, hvis samfundet ikke omstilles strukturelt, og DAC ikke opskaleres på grund af høje omkostninger eller tekniske udfordringer. Det stiller store krav til biologisk baserede negative udledninger via fx biokul og BECCS. Øget skovrejsning ville alternativt også kunne bidrage som erstatning for DACCS.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110, og rammebetingelserne for hovedscenarierne er stadig gældende.

Klimarådet.

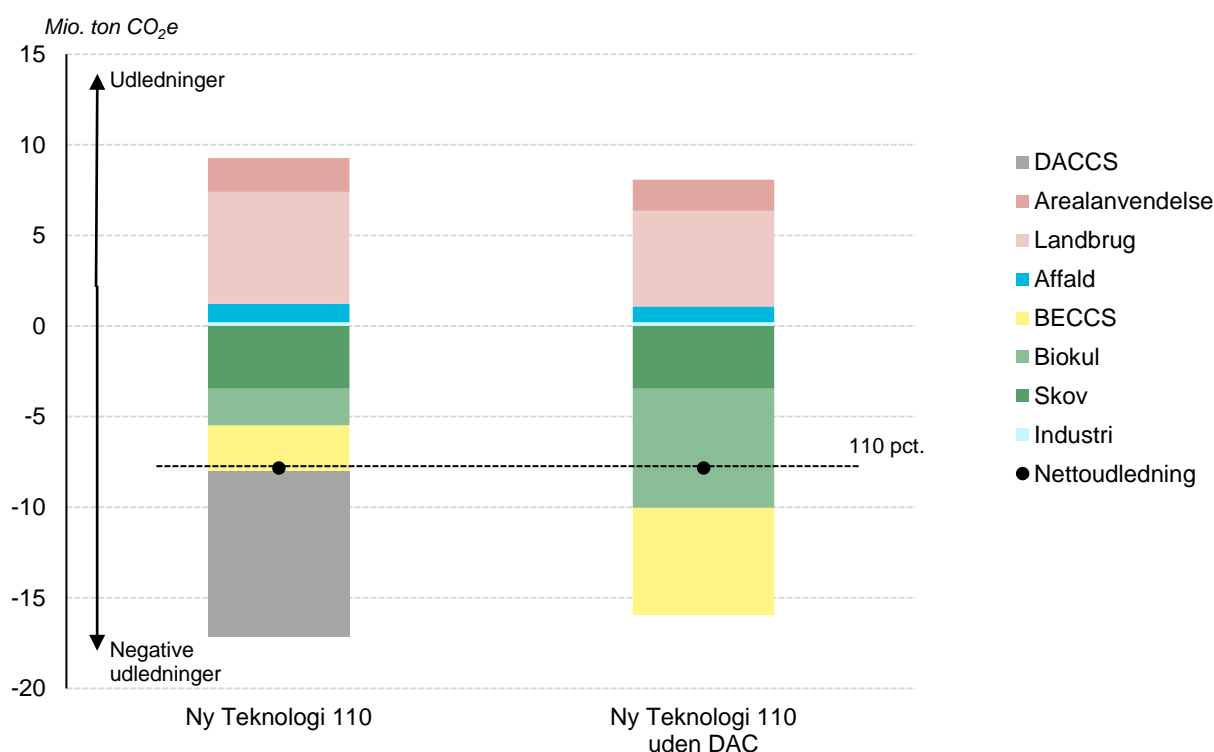
Da scenariet baseres på Ny Teknologi 110, er der fortsat en betydelig nettoudledning fra fx landbruget, der ikke er undergået en lige så stor strukturel omstilling som i Ny Hverdag 110. For at kunne opnå 110 pct. reduktion uden brug af DACCS, skal der derfor produceres mere biomasse til kulstoflagring end i Ny Teknologi 110. En betydelig del af arealet omlægges derfor fra foder- og fødevarerproduktion til produktion af energiafgrøder til biokul og BECCS. Det medfører ændringer i afgrødefordelingen og i foderforbruget.

Ændringerne betyder blandt andet, at det i modsætning til Ny Teknologi 110 er nødvendigt at importere foder, da der ikke længere er areal nok til at producere højtydende græs til produktion af græsprotein til foder. Behovet for negative udledninger fra biokul og BECCS betyder tillige, at den indfangede CO₂ fra punktkilder allokeres til lagring i stedet for til produktion af elektrobrændstoffer som i Ny Teknologi 110.

Se afsnit 8.8 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Bidrag fra biokul og BECCS skal mere end fordobles for at nå målet uden DAC

Restudledningerne i det alternative scenarie er 8,1 mio. ton CO₂e. Det er godt 1 mio. ton mindre end i Ny Teknologi 110. Da DAC ikke er til rådighed, er der behov for store negative udledninger fra biokul og BECCS for at nå 110 pct. reduktion. Udledningerne fremgår af figur 8.3.



Figur 8.3 Udledninger og negative udledninger for Ny Teknologi 110 og Alternativt scenarie 2

Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødskning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter.

Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.

Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

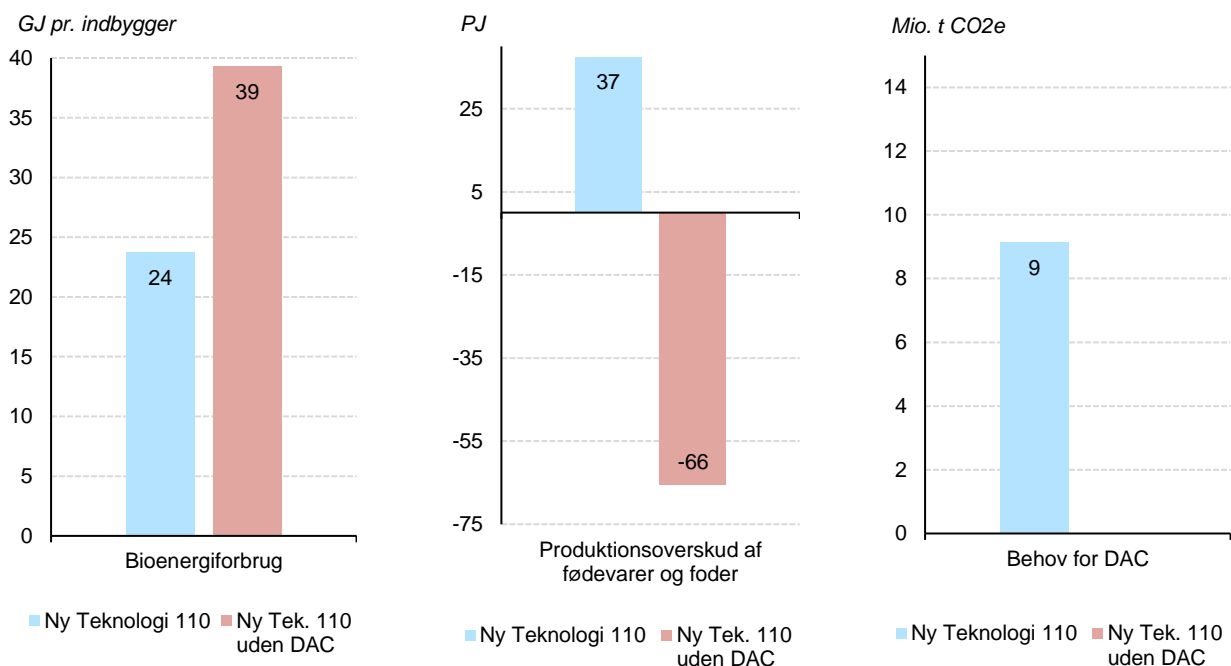
Behovet for biokul indebærer, at store dele af arealet til produktion af foder og fødevarer, særligt korn og græs, omlægges til produktion af energiafgrøder. Energiafgrøder er i dette tilfælde pil, men kunne også være andre afgrøder. Ændringen i arealanvendelsen betyder, at der er lavere udledninger forbundet med landbruget, hvilket hovedsageligt skyldes et lavere gødningsbehov for pil i forhold til korn og højtydende græs.

Produktion af biokul bidrager med 6,6 mio. ton CO₂e i negative udledninger. For at opnå dette skal der produceres store mængder biokul, som på nuværende tidspunkt hovedsageligt forventes at blive spredt på marker. Når biokul udbringes på marker, frigiver det fosfor. Udbringning af fosfor i dag er reguleret gennem et fosforloft. En grov beregning fra Klimarådet viser, at mængden af biokul i dette alternative scenarie vil overskride fosforloftet. Det vil derfor sandsynligvis ikke være muligt at sprede al biokullet på markerne. Beregningen er behæftet med usikkerhed både med hensyn til fosforindholdet i biokullet og det fremtidige fosforloft. Den illustrerer dog, at det er vigtigt at undersøge andre lagringsmuligheder, hvis biokul skal bidrage væsentligt til negative udledninger i fremtiden. Det kunne fx være iblanding af biokul i materialer som cement.

Ny teknologi uden DAC øger bioenergiforbrug og mindsker fødevarerproduktion

Når 110 pct. reduktion skal nås uden brug af DAC og uden større strukturel omstilling i samfundet, end der indgår i Ny Teknologi 110, stiger forbruget af bioressourcer til energiformål og CO₂-lagring via BECCS til omkring 39 GJ pr. indbygger, der fremgår af figur 8.4. Hertil kommer behovet for bioressourcer til produktion af biokul, som er meget stort i dette scenarie.

Produktionen af biomasse til energiformål og kulstoflagring optager arealer, der i Ny Teknologi 110 blev brugt til produktion af fødevarer og foder. Scenariets store forbrug af bioressourcer til energi og kulstoflagring medfører en stor import af fødevarer og foder, som det eneste scenarie i analysen.



Figur 8.4 Udvalgte konsekvenser ved et scenarie med Ny Teknologi 110 uden DAC

Anm.: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Scenariet illustrerer udfordringerne ved at skulle nå 110-procentsmålet i Ny Teknologi uden DAC. Det vil have store konsekvenser for vores forbrug af bioressourcer og for produktionsoverskuddet af fødevarer og foder, hvis vi som samfund ikke foretager en større ændring af produktion og forbrug af fødevarer og heller ikke kan anvende DAC eller andre ikke-arealkrævende metoder til at opnå negative udledninger.

8.3 Alternativt scenarie 3: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om natur

I dette alternative scenarie afsættes betydeligt mindre areal til skov og natur end i hovedscenarierne. I alle hovedscenarierne afsættes 30 pct. af Danmarks landareal til beskyttet natur, mens der i dette alternative scenarie kun afsættes 14 pct. lige som i Kendt Omstilling. Scenariet viser dermed effekten af at afsætte 30 pct. af Danmarks landareal til beskyttet natur fremfor 14 pct.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110. I scenariet vådlægges kulstofrige jorder, men derudover udlægges ikke landbrugsjord til natur, og kun en mindre del af den eksisterende skov udlægges til urørt skov. Det ekstra areal, der dyrkes i dette scenarie, giver mulighed for en større produktion af plantebaserede fødevarer og af bioressourcer til energi og kulstoflagring. Flere plantebaserede fødevarer betyder blandt andet et større areal med bælgsgødning. Andre antagelser i scenariet er så vidt muligt uændret i forhold til Ny Teknologi 110.

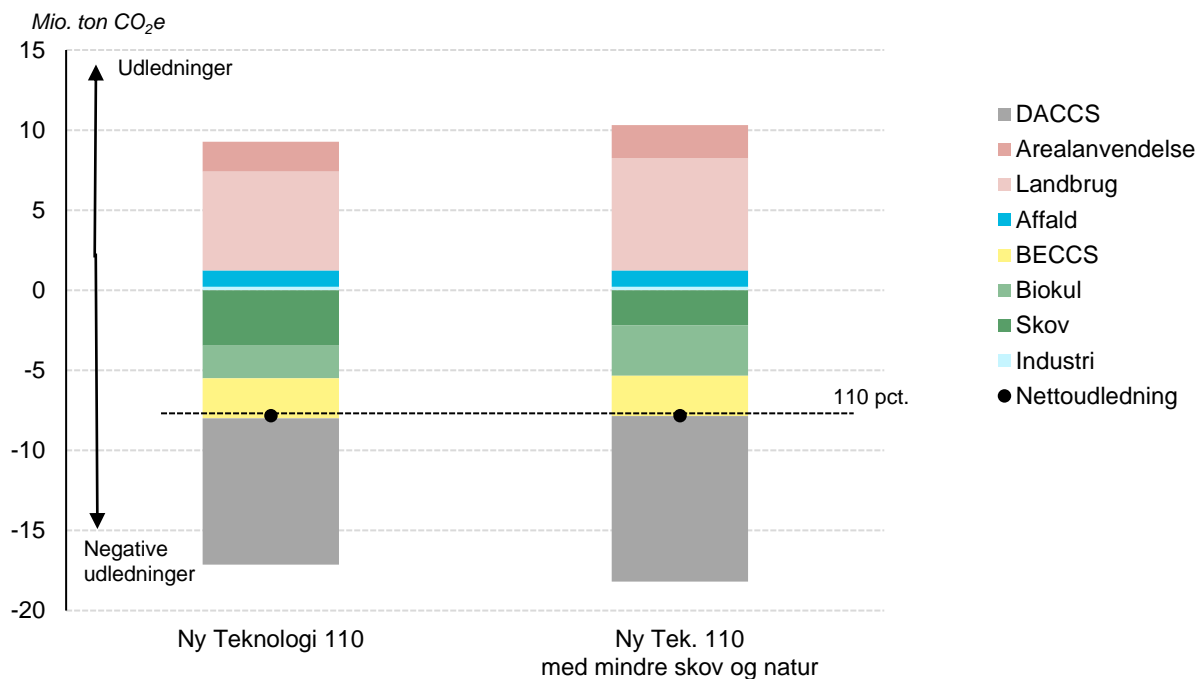
Se afsnit 8.8 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Et mindre areal med beskyttet natur og skov øger restudledninger og mindsker CO₂-optag i skov

Det alternative scenarie har en større udledning fra landbrug og arealanvendelse, da der dyrkes afgrøder på et større areal. De øgede udledninger på cirka 1 mio. ton CO₂e kommer blandt andet fra gødsning af markerne. Samtidig betyder scenariets mindre areal med urørt skov, at skov optager og lagrer mere end 1 mio. ton mindre CO₂ set i forhold til Ny Teknologi 110. Det mindre areal med natur øger samlet set nettoudledningen med 2,3 mio. ton CO₂e. Figur 8.5 viser udledninger og negative udledninger sammenlignet med Ny Teknologi 110.

Den øgede udledning opvejes i scenariet nogenlunde ligeligt med øget lagring af biokul og øget DACCS. Øget lagring af biokul sker ved pyrolysning af en øget mængde biomasse, især halm, der er til rådighed i scenariet på grund af det større dyrkede areal.

Klimarådet.



Figur 8.5 Udledninger og negative udledninger for Ny Teknologi 110 og Alternativt scenarie 3

Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødskning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter.

Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.

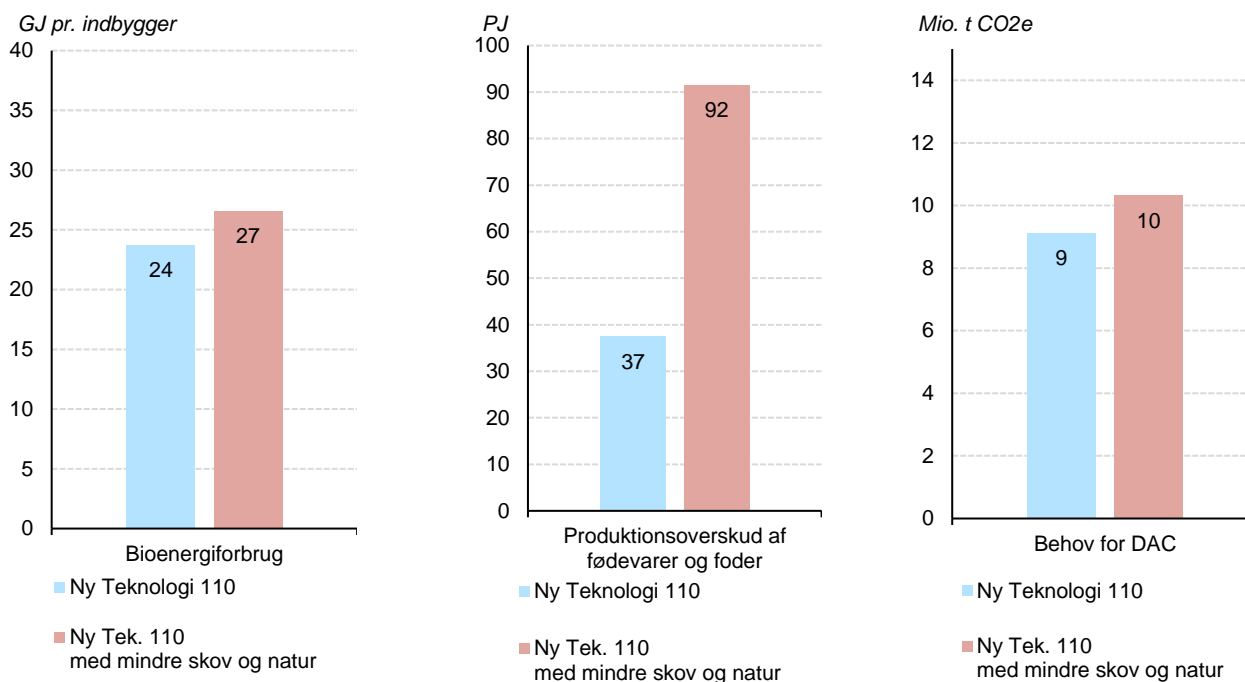
Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Mindre beskyttet natur og skov giver et større produktionsoverskud

Udeladelsen af rammebetingelsen om natur medfører et markant øget produktionsoverskud af fødevarer og foder fra det større areal, som nu er til rådighed til dyrkning. Samtidig øges forbruget af bioressourcer, og behovet for DACCS stiger fra 9 til over 10 mio. ton CO₂e. Det fremgår af figur 8.6.

Klimarådet.



Figur 8.6 Udvalgte konsekvenser ved et scenarie med Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om natur

Anm.: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilde: Klimarådet.

Scenariet illustrerer, at der er forskellige fordele og ulemper ved rammebetingelsen. Der er flere fødevarer og mere træ til rådighed, når der er mindre natur, men omvendt er udledningerne større, og muligheden for at beskytte dyre- og plantearter er markant ringere. På grund af den øgede mængde af biomasse, som kan høstes i scenariet, er det muligt at kompensere for hovedparten af de øgede udledninger fra landbrug og mindre CO₂-optag i skovene via biokul.

8.4 Alternativt scenarie 4: Ny Hverdag 110 uden rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring

I dette alternative scenarie undersøges det, hvilke effekter det har at undlade rammebetingelsen om ikke at importere bioressourcer til energiformål og kulstoflagring.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

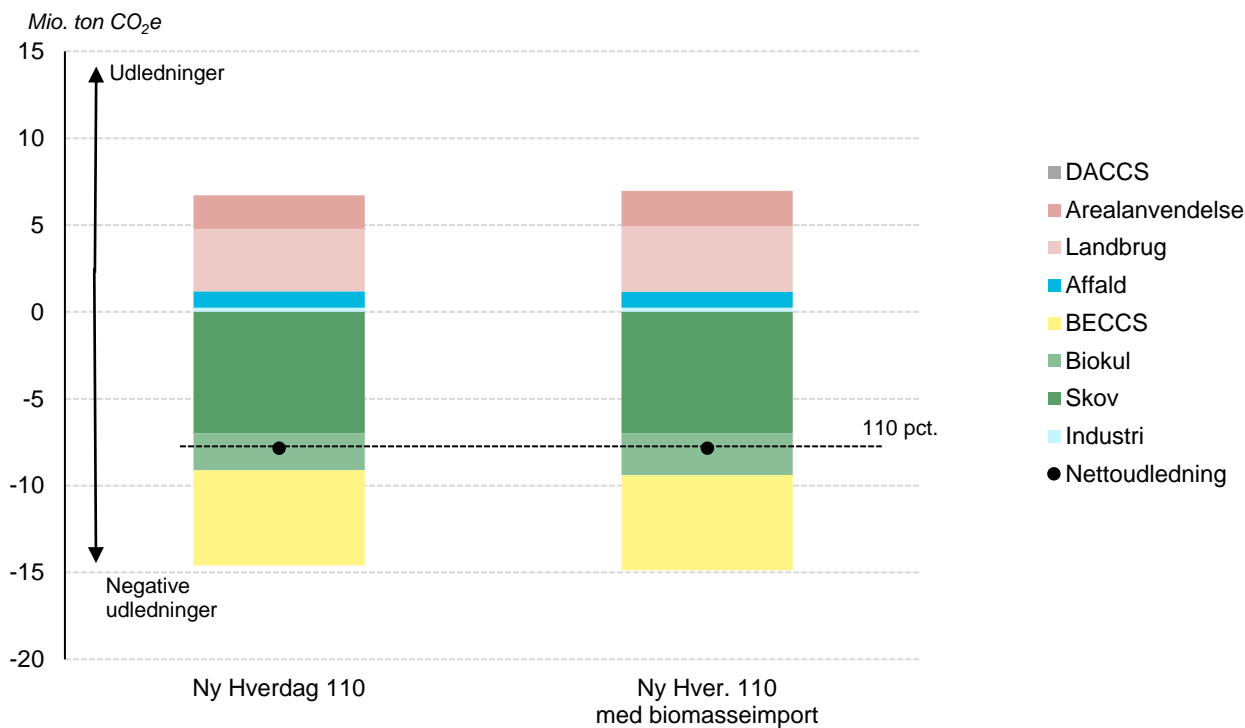
Scenariet tager udgangspunkt i Ny Hverdag 110. Scenariet adskiller sig fra Ny Hverdag 110 ved at erstatte en del af den indenlandske produktion af bioenergi med importeret biomasse. Noget af det areal, der blev anvendt til produktion af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring, kan i stedet omlægges til produktion af foder og fødevarer. I scenariet halveres arealet med produktion af pil. Det frigjorte areal bruges især til produktion af korn, som ud over at levere foder og fødevarer også bidrager med halm til produktion af biokul. Produktionen af biokul baseres på indenlandske bioressourcer, mens BECCS anvender importeret biomasse.

Se afsnit 8.7 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Klimarådet.

Import af bioressourcer til energiformål og lagring har ikke stor betydning for udledningerne

Det øgede areal med korn i stedet for pil medfører en mindre stigning i udledningerne fra landbrug på grund af øget gødskning. Samlet set er scenariets udledninger og negative udledninger dog tæt på identiske med Ny Hverdag 110. Undladelsen af rammebetingelsen kan dermed siges ikke at have stor betydning for scenariets udledninger.



Figur 8.7 Udledninger og negative udledninger for Ny Hverdag 110 og Alternativt scenarie 4

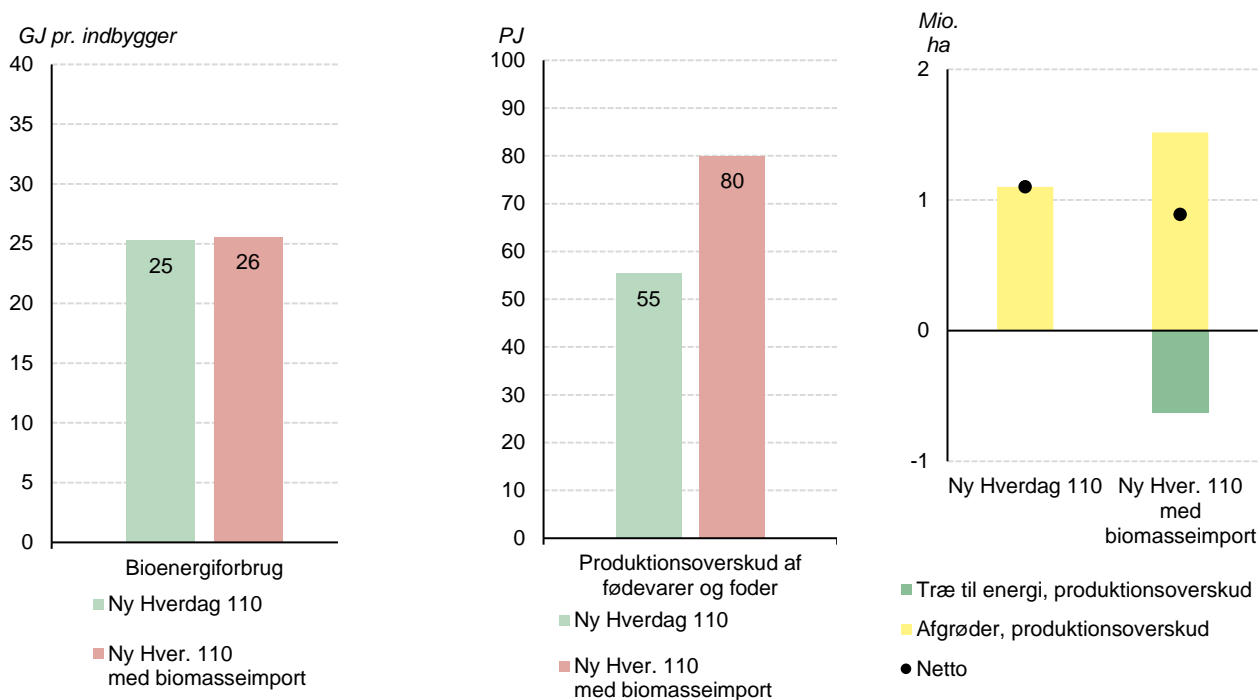
- Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødskning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter. s
- Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.
- Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Import af bioenergi øger arealaftrykket i udlandet

Undladelsen af rammebetingelsen har derimod konsekvenser for, hvor stort et areal den danske efterspørgsel efter bioressourcer til energiformål og lagring lægger beslag på arealer i udlandet. Dette vises i figur 8.8.

Klimarådet.



Figur 8.8 Udvalgte konsekvenser ved at undlade rammebetingelsen om ikke at importere bioressourcer til energiformål og kulstoflagring

Anm. 1: Arealaftrykket er udregnet på baggrund af globale gennemsnitsudbytter. Metoden fremgår af *Baggrundsnotat 2*.

Anm. 2: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilder: FAO STAT³⁸ og Klimarådet.

Importen af bioressourcer øger presset på andre landes arealer. I figur 8.8 i figuren til højre viser den første søjle den frigivelse af areal i udlandet, som det danske produktionsoverskud af afgrøder svarer til i Ny Hverdag 110. Der er ikke noget produktionsoverskud af træ til energi, da al dansk produceret energitræ antages at blive brugt i Danmark i Ny Hverdag 110. I anden søjle ses, at det alternative scenarie med import af bioressourcer lægger beslag på et areal i udlandet, mens et øget produktionsoverskud af afgrøder trækker den anden vej. Det skal understreges, at det er forbundet med betydelig usikkerhed at knytte produktionsoverskuddet af varer til en arealfrigivelse i udlandet. Se *Baggrundsnotat 2* for en oversigt over, hvilke afgrøder der indgår i opgørelsen.

Scenariet illustrerer sammenhængen mellem arealkrævende produktion af bioressourcer. I det alternative scenarie importerer vi biomasse fra udlandet til energiformål og CO₂-lagring via BECCS i stedet for selv at producere det hele. Til gengæld har vi et større produktionsoverskud af fødevarer og foder, der potentielt kan eksporteres til udlandet.

8.5 Alternativt scenarie 5: Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om produktion af brændstoffer

I dette alternative scenarie undersøges det, hvad effekterne er af ikke at skulle producere brændstoffer til bunkring til international transport.

Klimarådet.

Dette alternative scenarie kan afspejle en fremtid, hvor det er billigere at producere grønne brændstoffer i udlandet og transportere dem til Danmark, hvorfor import af brændstoffer vælges frem for egenproduktion, der alternativt vil skulle tilskyndes politisk.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

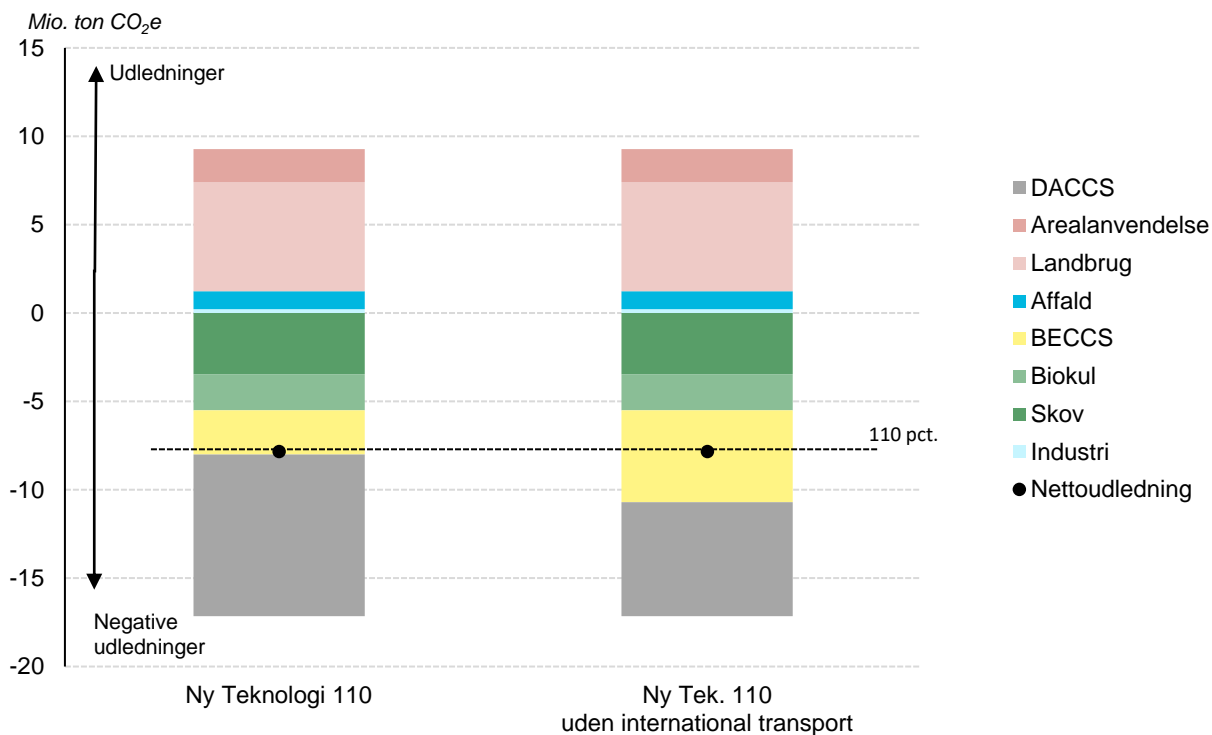
Scenariet tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110. Analysens hovedscenarier er generelt underlagt rammebetingelsen om at producere nok grønt brændstof til at dække bunkring af udenrigsfly og -skibe, men i dette alternative scenarie undlades denne rammebetingelse. Det betyder, at en større del af den indfangede CO₂, fra de samme punktkilder som i Ny Teknologi 110 kan anvendes til lagring. Derudover er alle antagelser i det alternative scenarie så vidt muligt uændret i forhold til Ny Teknologi 110.

Se afsnit 8.8 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Ingen dansk produktion af brændstoffer til international transport frigiver CO₂ til lagring

Når der ikke skal produceres brændstoffer til international transport, kan indfanget CO₂ fra punktkilder i højere grad lagres via BECCS frem for at blive anvendt til brændstofproduktion. Det fremgår af figur 8.9. Ud over fordelingen mellem BECCS og DACCS er der ikke forskel i udledningerne og negative udledninger i de to viste scenarier i figur 8.9, hvor de tilbageværende udledninger ligger på omkring 9,3 mio. ton CO₂e i 2050.

Klimarådet.



Figur 8.9 Udledninger og negative udledninger for Ny Teknologi 110 og Alternativt scenarie 5

Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødskning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter.

Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.

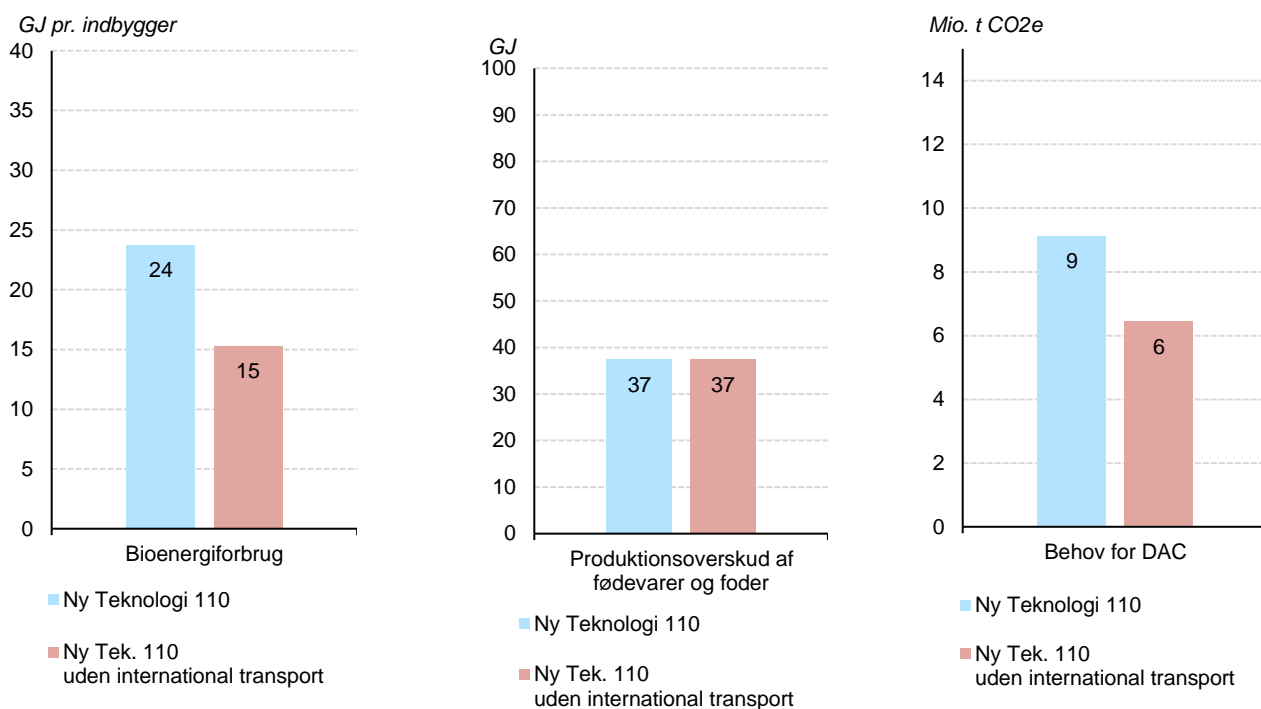
Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Uden brændstof til skibe og fly mindskes bioenergiforbruget med 40 pct.

I scenariet skal der ikke produceres store mængder af kulstofholdige brændstoffer. Derfor kan indfanget CO₂ fra forskellige punktkilder i højere grad lagres, hvilket resulterer i et mindre behov for DAC. Den mindre produktion af kulstofholdige brændstoffer resulterer i et fald i bioenergiforbrug pr. indbygger på 40 pct. i forhold til Ny Teknologi 110. Det fremgår af figur 8.10.

Klimarådet.



Figur 8.10 Udvalgte konsekvenser ved et scenarie med Ny Teknologi 110 uden rammebetingelse om produktion af brændstoffer

Anm. 1: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilde: Klimarådet.

Scenariet illustrerer, at der uden rammebetingelsen om produktion af brændstoffer er et lavere bioenergiforbrug og et lavere behov for DAC. Til gengæld tager Danmark ikke et medansvar for at producere grønne brændstoffer til bunkring af udenrigsskibe og -fly i Danmark.

8.6 Alternativt scenarie 6: Ny Teknologi 110 med opvejning af plastforbrug og kondensstriber

I dette alternative scenarie undersøges det, hvilken betydning det har, hvis der også skal tages højde for forbruget af plast og flyenes kondensstriber. I scenariet antages det, at Danmark skal indfange kulstof svarende til produktion af den mængde plast, der anvendes i Danmark, samt kompensere for luftfartens ikke-CO₂-effekter, hvilket blandt andet udgøres af kondensstriber og derfor i nogle tilfælde blot refereres som kondensstriber.

Mange produkter, som bruges i Danmark, produceres i dag i udlandet. I alle analysens hovedscenarier antages det, at Danmark i 2050 stort set har de samme industrier som i dag, hvorfor der fortsat sker import af produkter fra udlandet. Dermed indgår kulstofforbruget til produktionen af disse produkter ikke i hovedscenariernes opgørelser for den danske industri. Især produktion af plast kræver et stort kulstofinput, der i dag altovervejende hentes fra fossile brændstoffer. Hvis forbruget af plast skal omstilles væk fra fossile brændstoffer, skal kulstoffet komme fra biogene kilder eller fra direkte kulstoffangst fra atmosfæren eller fra havet. I dette scenarie undersøges, hvor meget kulstof det danske forbrug af plast, som produceres i udlandet, lægger beslag på. Det svarer omtrent til at antage, at Danmark i scenariet selv skulle producere plast svarende til danskernes forbrug og derfor vil skulle indfange kulstof til produktionen. Alternativt svarer det til at antage, at produktionen fortsat sker i udlandet, og at vi i Danmark skal indfange og sende kulstof til produktionen til udlandet.

Klimarådet.

Antagelser og omstillingselementer i scenariet

Det alternative scenarie tager udgangspunkt i Ny Teknologi 110. I scenariet ændres behovet for DAC til plast og kompensation for ikke-CO₂-effekter fra luftfarten. Derudover er antagelserne de samme som i Ny Teknologi 110. Se afsnit 8.8 for en detaljeret oversigt over antagelser.

Analysen omhandler territoriale udledninger for Danmark, men i dette alternative scenarie ses der desuden på:

- **Plastforbrug.** Det alternative scenarie er beregnet for at illustrere, at der er behov for kulstof til andre formål end energi, lagring og fødevarer og foder. Scenariet medregner forbruget af plast. Det kunne alternativt have været valgt at vise et eksempel med kulstofindholdet i danskernes forbrug af tøj, som Danmark ligeledes i høj grad importerer.

Scenariet undersøger, hvor meget kulstof, det danske forbrug af plast lægger beslag på. Beregningen tager udgangspunkt i mængden af plast, som blev forbrugt af danskerne i 2016. I denne beregning antages det, at 40 pct. af denne plast kan genanvendes. Dermed skal der årligt tilføres kulstof til at kunne producere 60 pct. af det danske plastforbrug.

- **Ikke-CO₂-effekter.** Det alternative scenarie undersøger, hvor meget kulstof der skal indfanges og lagres, for at det klimamæssigt svarer til de såkaldte ikke-CO₂-effekter fra flyrejser. Ikke-CO₂-effekter er klimapåvirkninger, der stammer fra blandt andet udledning af NO_x, sod, svovldioxid og vand, der kan danne kondensstriber. De er en del af klimapåvirkningen fra danske aktiviteter, men tæller ikke med i Danmarks internationale klimaforpligtelser. Det kan dog diskuteres, om et samfund kan siges at være klimaneutralt uden at tage et ansvar herfor, og det er derfor relevant at undersøge omfanget af negative udledninger, der skal til for at kunne kompensere for denne klimapåvirkning. Klimapåvirkningen fra disse udledninger er ofte meget kortvarig, hvilket gør det vanskeligt at sammenligne med udledninger af CO₂, der bidrager til opvarmning i atmosfæren i mange århundreder. Dette repræsenterer en udfordring i forhold til at medregne ikke-CO₂-effekter i Danmarks samlede kulstofkredsløb og klimapåvirkning.

Der er fortsat stor usikkerhed om klimapåvirkningen fra ikke-CO₂-effekterne fra luftfarten, og resultaterne af det alternative scenarie skal derfor ses i dette lys. I beregningen er antaget en klimapåvirkning fra ikke-CO₂-effekter i størrelsesordenen af 70 pct. af klimapåvirkningen fra luftfartens CO₂-udledning fra flymotorerne. Faktoren er fastlagt med udgangspunkt i en GWP100-omregning, der anvendes for at kunne sammenligne og omregne de kortvarige opvarmningseffekter til de langvarige opvarmningseffekter fra CO₂.³⁹ Ved anvendelse af eksempelvis GWP50 eller lavere GWP-faktorer vil den beregnede klimapåvirkning fra ikke-CO₂-effekterne være større. I beregningen er antaget, at skift fra fossil jet fuel til bio- og elektro-jet fuel bidrager til en mindre reduktion af klimapåvirkningen fra ikke-CO₂-effekter. Dette skyldes blandt andet, at brændstofferne som udgangspunkt indeholder færre aromater og producerer mindre sod. Tilsvarende er der i beregningen antaget, at omdirigering af flyruter kan bidrage til at reducere klimapåvirkningen fra luftfartens ikke-CO₂-effekter.⁴⁰

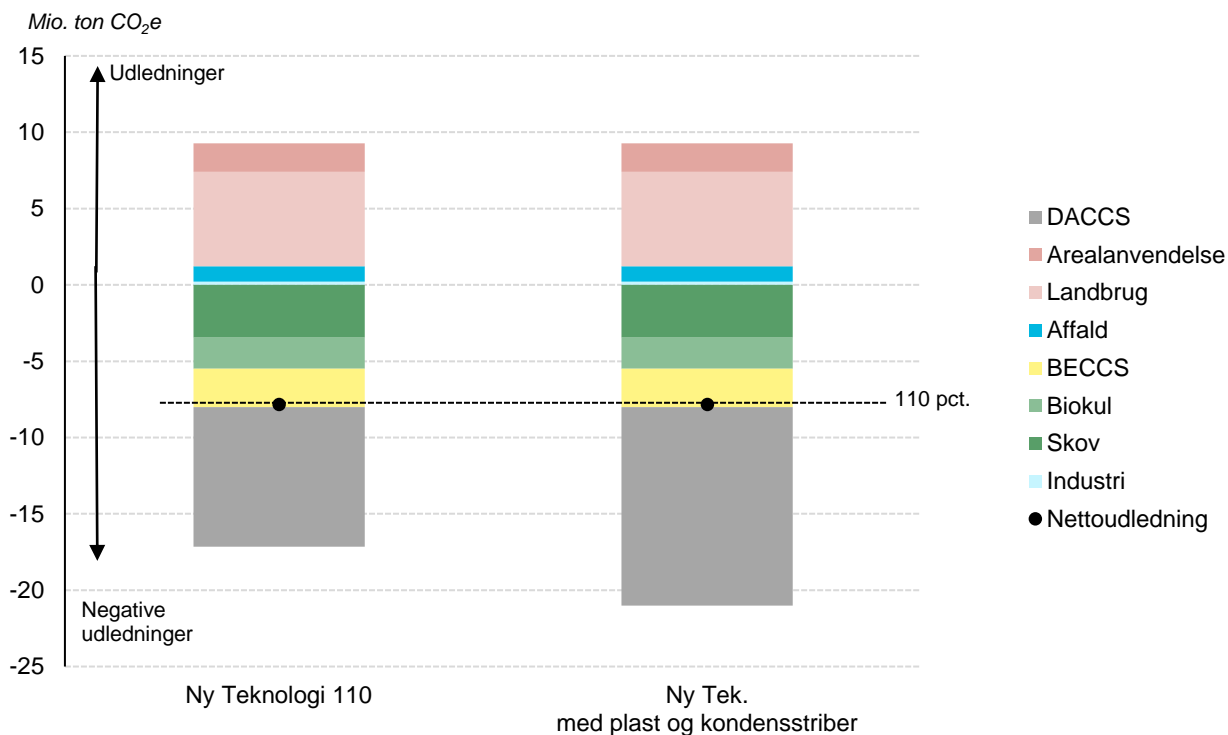
Medregningen af kulstof til plast og kompensation for ikke-CO₂-effekter har betydning for behovet af DAC i 2050, men har derudover ikke effekt på resten af Danmarks udledninger og negative udledninger, som det fremgår af figur 8.11.

Det kræver betydelige mængder DAC at opveje plastforbrug og klimapåvirkning fra ikke-CO₂-effekter

I det alternative scenarie er behovet for fangst af CO₂ til produktion af plast cirka 2 mio. ton CO₂e. I scenariet er der tilsvarende behov for negative udledninger i størrelsesordenen 2 mio. ton CO₂e til at kompensere for klimapåvirkningen fra kondensstriber og andre ikke-CO₂-effekter fra luftfarten. I alt skal der altså indfanges yderligere cirka 4 mio. ton CO₂e. Det fremgår af figur 8.11, hvori både behovet for indfanget CO₂ til produktion af plast og behovet for yderligere negative udledninger som kompensation for klimapåvirkningen fra fly er vist i kategorien DACCS.

Bioenergiforbruget pr. indbygger samt produktionsoverskuddet af fødevarer og foder ændres ikke i forhold til Ny Teknologi 110.

Klimarådet.



Figur 8.11 Udledninger og negative udledninger for Ny Teknologi 110 og Alternativt scenarie 6

Anm. 1: Alle territoriale CO₂e-udledninger er med i figuren. Landbrug: dyrenes fordøjelse, gødningshåndtering, gødsning på marker. Arealanvendelse: LULUCF inkl. kulstofrige jorder, ekskl. skov og høstede træprodukter. Skov: skov og høstede træprodukter.

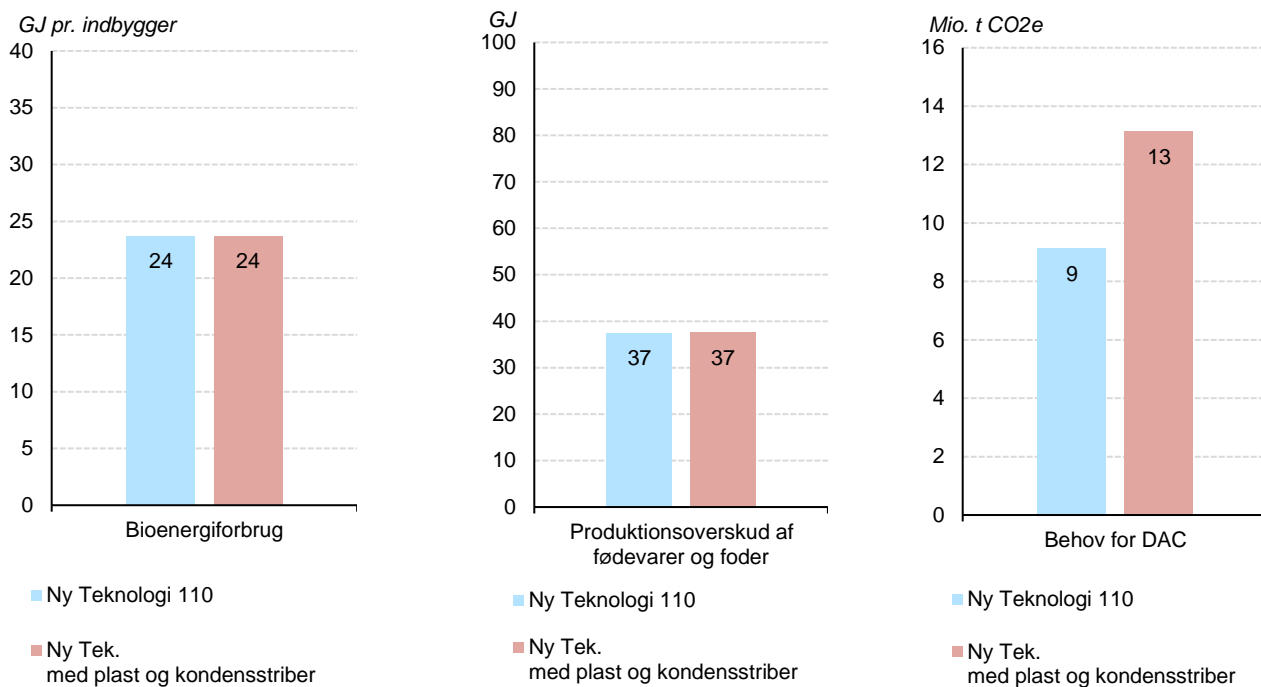
Anm. 2: CO₂ der fanges og anvendes til brændstoffer er ikke synlig i figuren. CO₂ indfanget til brændstofproduktion er fratrukket kategorien BECCS. I praksis vil det anvendte kulstof kunne hentes fra alle fangstkilder, herunder også DAC.

Anm. 3: Reduktionsmålet refererer til 1990-udledningen på 78 mio. ton CO₂e. En 110 pct. reduktion indebærer en nettoudledning på -8 mio. ton CO₂e, hvilket vises med den vandrette stiplede streg gennem -8. Udledning og negativ udledning skal altså tilsammen give -8.

Kilde: Klimarådet.

Scenariet illustrerer, at der vil være tale om et forholdsvist stort ekstra behov for DAC, når der både skal nås et 110-procentsmål, produceres nok brændstof, kompenseres for klimapåvirkningen fra luftfartens ikke-CO₂-effekter samt indfanges kulstof til produktion af plast til det danske plastforbrug.

Klimarådet.



Figur 8.12 Udvalgte konsekvenser ved et scenarie med Ny Teknologi 110 med opvejning af plastikforbrug og kondensstriber

Anm.: Bioenergiforbruget beregnes som det direkte forbrug af biogene produkter til el- og varmeproduktion, industri, brændstofproduktion, affaldsforbrænding og transport. Det omfatter ikke fx træ til møbler, energitab i biogas- og pyrolyseprocesser eller biogent materiale i biokul. Det dækker derfor ikke hele samfundets forbrug af biogene produkter.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

8.7 Oversigt over antagelser og omstillingselementer i Alternativt scenarie 1 og 4

Tabel 8.1 Antagelser og omstillingselementer for arealanvendelse

	Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4
Arealanvendelse	Rammebetingelse om 30 pct. areal til natur	-	ja	ja
	Andel af areal afsat til natur	pct.	30	30
	Andel kulstofrige lavbundsjord udtaget ift. 2020	pct.	70	70
	Rejsning af ny produktionsskov	ha	500.000	350.000
	Skovtyper	-	Blandede	Hurtigvoksende
	Areal omlagt fra produktionsskov til urørt skov	ha	160.000	160.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til urørt skov	ha	278.000	278.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til græsarealer	ha	278.000	278.000
	Inddraget areal til bebyggelse	ha	40.000	40.000
	Areal til solceller	ha	44.000	44.000

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Tabel 8.2 Antagelser og omstillingselementer for fødevarerforbrug og adfærd

	Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4
Fødevarerforbrug og adfærd	Andel af omlagt oksekødsforbrug ift. 2020	pct.	83	83
	Andel af omlagt svinekødsforbrug ift. 2020	pct.	90	90
	Andel af omlagt mælkeforbrug ift. 2020	pct.	80	80
	Andel af omlagt osteforbrug ift. 2020	pct.	50	50
	Animalske fødevarer omlægges til	-	Plantebaseret alternativ	Plantebaseret alternativ / kunstigt kød og mælk
	Madspild	pct.	10	10
	Udsortering af bioaffald	pct.	42	42

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Tabel 8.3 Antagelser og omstillingselementer for landbrug

	Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4	
Landbrugsproduktion	Udvikling i høstudbytter ift. 2020	pct.	19,5	19,5	19,5
	Udvikling i husdyrproduktion med svin og kvæg ift. 2020	pct.	-80	-80	-80
	Andel af konventionelle kvæg med Bovaer tilsat til foderet	pct.	29	80	29
	Andel af økologisk kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	0	50	0
	Andel af konventionelt kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	29	20	29
	Andel af husdyr- og kunstgødning, som tilsættes nitrifikationshæmmere	pct.	0	0	0
	Andel økologiske afgrøder	pct.	16	16	16
	Andel økologisk husdyr	pct.	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20
	Andel af korn på landbrugsareal	pct.	40	48	52
	Andel bælgssæd	pct.	7	16	9
	Andel højtydende græs	pct.	10	9	10
	Andel pil	pct.	25	9	14
	Andel opsamlet halm	pct.	80	80	80
	Areal med N-fikserende efterafgrøder	ha	500.000	500.000	500.000
	Andel N-fikserende efterafgrøder der høstes	pct.	90	90	90
	Import af foder	pct.	0	0	0
	Andel græsprotein i foder	pct.	12	12	12
	Andel af naturarealer der høstes	pct.	15	15	15

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Tabel 8.4 Antagelser og omstillingselementer for biogas og pyrolyse

		Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4
Biokul via pyrolyse	Input af bioressourcer til produktion af biokul	mio. ton TS	4,2	4,0	4,6
	Input af afgasset biomasse til produktion af biokul	mio. ton	19,5	19,5	19,5
	Input af halm til produktion af biokul	mio. ton	0,4	1,5	1
	Input af pil til produktion af biokul	mio. ton	5,5	2,9	5,2
	Input af græsfiberfraktion til produktion af biokul	mio. ton	0	0	0
	Input af haveparkaffald til produktion af biokul	mio. ton	0,4	0,4	0,4
	Produktion og lagring af biokul fra spildevandsslam	mio. ton	1,1	1,1	1,1
Biogas	Biogasproduktion af andel af husdyrgødning	pct.	90	90	90
	Andel af gylle der udsluses hurtigt	pct.	90	90	90
	Halm til biogasproduktion	mio. ton	0,5	0,5	0,5
	Import af biomasser til biogas	-	nej	nej	nej
	Brunsaft fra bioraffinering til biogas	mio. ton	6	6	6
	Græsfiber fra bioraffinering	mio. ton	2,5	2,5	2,5
	Efterafgrøder til biogas	ton	4	4	4
Biogasproduktion	PJ	36	36	36	
Andre ressourcer	Andel af udnyttet potentiale af produktion af muslinger	pct.	3	100	3
	Andel af udnyttet potentiale af produktion af tang	pct.	0	100	0
	Halm til afbrænding	mio. ton	1,6	1,6	1,6

Anm. 1: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Anm. 2: Bioressourcerne til produktion af biokul består af separeret afgasset biomasse fra biogasproduktion, halm, pil, græsfiberfraktion (tilbageværende pulp efter udvinding af protein fra græs), haveparkaffald og spildevandsslam. Meget våde biogene produkter som afgasset biomasse undergår en separationsproces inden pyrolysering. Det betyder at kun omkring halvdelen af tørstofindholdet i den afgassede biomasse tilgår pyrolyseprocessen, mens resten tilbageføres til marken.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.5 Antagelser og omstillingselementer i energi, industri og CO₂-fangst

	Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4	
Forbrug og produktion	Rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring	-	ja	ja	nej
	Følger el- og brintkapaciteten samt fjernvarmefordelingen i Energistyrelsens AF23	-	ja	ja	ja
	Udvikling i opvarmet bygningsareal ift. i dag	pct.	0	0	0
	Udvikling i energiforbrug til opvarmning pr. m ² ift. i dag	pct.	-23	-23	-23
	Andel af energiforbrug til bygningsopvarmning, der er fossilfri	pct.	100	100	100
	Andel af varmebehov i husholdninger og serviceerhverv, der forsynes af fjernvarme	pct.	60	60	60
	Udvikling i omfang af cementproduktion ift. 2022	pct.	-25	-25	-25
	Elektrificering af lav- og mellemtemperatur industriprocesser	pct.	60	85	60
	Elektrificering af højtemperatur industriprocesser	pct.	40	60	40
	Brint i højtemperatur industriprocesser	pct.	15	20	15
	Elektrificering i intern transport i industrien	pct.	50	75	50
	Reduceret energiforbrug som følge af energieffektivisering i industri i forhold til 2022	pct.	-10	-20	-10
	CO ₂ -fangst	Øget el- og varmeproduktion fra biomassefyret kraftvarme med CO ₂ -fangst ift. Kendt Omstilling	pct.	65	0
Andel af brændstofproduktion, herunder biogasopgradering med CO ₂ -fangst		pct.	100	100	100
Andel af cementproduktion med CO ₂ -fangst		pct.	100	100	100
Andel af udledning fra kraftvarmeværker med CO ₂ -fangst		pct.	90	90	90
Andel af udledning fra øvrige punktkilder i industri og fra fjernvarmekedler med CO ₂ -fangst		pct.	50	50	50
Andel af udledning fra affaldsforbrændingsanlæg med CO ₂ -fangst		pct.	90	90	90
Anvendes DACCS som marginalt omstillingselement for at nå klimamål?		-	nej	ja	nej
Fangsteffektivitet ved kulstoffangst fra punktkilder		pct.	90	95	90

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.6 Antagelser og omstillingselementer for transport og drivmidler

		Enhed	Ny Hverdag 110	Alternativt scenarie 1	Alternativt scenarie 4
Transportbehov	Rammebetingelse om, at al grønt brændstof til bunkring skal mødes af national produktion	-	ja	ja	ja
	Energiforbrug til international luftfart ift. 2019	pct.	-20	-20	-20
	Energiforbrug til internationalt skibsfart ift. 2019	pct.	-20	-20	-20
	Transportbehov i indenrigsluftfart ift. 2024	pct.	-4	-4	-4
	Transportbehov i indenrigsskibsfart ift. 2024	pct.	-24	-24	-24
	Transportbehov i jernbane ift. 2024	pct.	21	21	21
	Transportbehov i vejtransport ift. 2019	pct.	-20	-20	-20
Drivmidler	Andel af vejtransport, der er fossilfri	pct.	100	100	100
	Andel af international luftfart, der dækkes af jet fuel (bio- og elektrobrændstof)	pct.	100	88	100
	Andel af international luftfart, der dækkes af brint	pct.	0	10	0
	Andel af international luftfart, der dækkes af el	pct.	0	2	0
	Andel af international skibsfart, der dækkes af ammoniak	pct.	60	75	60
	Andel af international skibsfart, der dækkes af kulstofholdige brændstoffer	pct.	40	25	40
	Andel af indenrigsluftfart på el	pct.	100	100	100
	Andel af indenrigsskibsfart på metanol	pct.	40	0	40
	Andel af indenrigsskibsfart på brint	pct.	30	30	30
Andel af indenrigsskibsfart på el	pct.	30	70	30	

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

8.8 Oversigt over antagelser og omstillingselementer i Alternativt scenarie 2, 3, 5 og 6

Tabel 8.7 Antagelser og omstillingselementer for arealanvendelse

	Enhed	Ny Teknologi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6	
Arealanvendelse	Rammebetingelse om 30 pct. areal til natur	-	ja	ja	nej	ja	ja
	Andel af areal afsat til natur	pct.	30	30	14	30	30
	Andel kulstofrige lavbundsjord udtaget ift. 2020	pct.	70	70	70	70	70
	Rejsning af ny produktionsskov	ha	83.500	83.500	83.500	83.500	83.500
	Skovtyper	-	Hurtigt-voksende	Hurtigt-voksende	Hurtigt-voksende	Hurtigt-voksende	Hurtigt-voksende
	Areal omlagt fra produktionsskov til urørt skov	ha	160.000	160.000	48.125	160.000	160.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til urørt skov	ha	300.000	300.000	0	300.000	300.000
	Areal omlagt fra landbrugsjord til græsarealer	ha	300.000	300.000	0	300.000	300.000
	Inddraget areal til bebyggelse	ha	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
	Areal til solceller	ha	44.000	44.000	44.000	44.000	44.000

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Tabel 8.8 Antagelser og omstillingselementer for fødevarerforbrug og adfærd

	Enhed	Ny Teknologi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6	
Fødevarerforbrug og adfærd	Andel af omlagt oksekødsforbrug ift. 2020	pct.	40	40	40	40	40
	Andel af omlagt svinekødsforbrug ift. 2020	pct.	40	40	40	40	40
	Andel af omlagt mælkeforbrug ift. 2020	pct.	40	40	40	40	40
	Andel af omlagt osteforbrug ift. 2020	pct.	0	0	0	0	0
	Animalske fødevarer omlægges til	-	Kunstigt kød og mælk	Kunstigt kød og mælk	Kunstigt kød og mælk	Kunstigt kød og mælk	Kunstigt kød og mælk
	Madspild	pct.	21	21	21	21	21
	Udsortering af bioaffald	pct.	90	90	90	90	90

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.9 Antagelser og omstillingselementer for landbrug

	Enhed	Ny Teknologi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6	
Landbrugsproduktion	Udvikling i høstudbytter ift. 2020	pct.	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
	Udvikling i husdyrproduktion med svin og kvæg ift. 2020	pct.	-40	-40	-40	-40	-40
	Andel af konventionelle kvæg med Bovaer tilsat til foderet	pct.	80	80	80	80	80
	Andel af økologisk kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	50	50	50	50	50
	Andel af konventionelt kvæg, der tildeles fedt i foder	pct.	20	20	20	20	20
	Andel af husdyr- og kunstgødning, som tilsættes nitrifikationshæmmere	pct.	60	60	60	60	60
	Andel økologiske afgrøder	pct.	16	16	16	16	16
	Andel økologisk husdyr	pct.	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20	svin: 3 kvæg: 17 fjerkræ: 20
	Andel af korn på landbrugsareal	pct.	41	18	42	41	41
	Andel bælgsgødning	pct.	4	2	10	4	4
	Andel højtydende græs	pct.	22	0	16	22	22
	Andel pil	pct.	2	63	2	2	2
	Andel opsamlet halm	pct.	80	80	80	80	80
	Areal med N-fikserende efterafgrøder	ha	0	0	0	0	0
	Andel N-fikserende efterafgrøder der høstes	pct.	0	0	0	0	0
	Import af foder	pct.	0	72	0	0	0
	Andel græsprotein i foder	pct.	15	0	15	15	15
	Andel af naturarealer der høstes	pct.	15	15	15	15	15

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.10 Antagelser og omstillingselementer for biogas og pyrolyse

	Enhed	Ny Teknologi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6	
Biokul via pyrolyse	Input af bioressourcer til produktion af biokul	mio. ton TS	4,8	10,6	6,4	4,8	4,8
	Input af afgasset biomasse til produktion af biokul	mio. ton	47,6	22,2	47,7	47,6	47,6
	Input af halm til produktion af biokul	mio. ton	0,6	0,4	2,2	0,6	0,6
	Input af pil til produktion af biokul	mio. ton	0	21	0,6	0	0
	Input af græsfiberfraktion til produktion af biokul	mio. ton	5,2	0	5,2	5,2	5,2
	Input af haveparkaffald til produktion af biokul	mio. ton	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Produktion og lagring af biokul fra spildevandsslam	mio. ton	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Biogas	Biogasproduktion af andel af husdyrgødning	pct.	90	90	90	90	90
	Andel af gylle der udsluses hurtigt	pct.	90	90	90	90	90
	Halm til biogasproduktion	mio. ton	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
	Import af biomasser til biogas	-	nej	nej	nej	nej	nej
	Brunsaft fra bioraffinering til biogas	mio. ton	23	0	23	23	23
	Græsfiber fra bioraffinering	mio. ton	5	0	5	5	5
	Efterafgrøder til biogas	ton	0	0	0	0	0
Andre ressourcer	Biogasproduktion	PJ	53	25	53	53	53
	Andel af udnyttet potentiale af produktion af muslinger	pct.	100	100	100	100	100
	Andel af udnyttet potentiale af produktion af tang	pct.	100	100	100	100	100
	Halm til afbrænding	mio. ton	1,6	0	1,6	1,6	1,6

Anm. 1: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Anm. 2: Bioressourcerne til produktion af biokul består af separeret afgasset biomasse fra biogasproduktion, halm, pil, græsfiberfraktion (tilbageværende pulp efter udvinding af protein fra græs), haveparkaffald og spildevandsslam. Meget våde biogene produkter som afgasset biomasse undergår en separationsproces inden pyrolysering. Det betyder at kun omkring halvdelen af tørstofindholdet i den afgassede biomasse tilgår pyrolyseprocessen, mens resten tilføres til marken.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.11 Antagelser og omstillingselementer i energi, industri og CO₂-fangst

	Enhed	Ny Tekno- logi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6
Forbrug og produktion	Rammebetingelse om ingen import af bioressourcer til energiformål og kulstoflagring	-	ja	ja	ja	ja
	Følger el- og brintkapaciteten samt fjernvarmefordelingen i Energistyrelsens AF23	-	ja	ja	ja	ja
	Udvikling i opvarmet bygningsareal ift. i dag	pct.	14	14	14	14
	Udvikling i energiforbrug til opvarmning pr. m ² ift. i dag	pct.	-11	-11	-11	-11
	Andel af energiforbrug til bygningsopvarmning, der er fossilfri	pct.	100	100	100	100
	Andel af varmebehov i husholdninger og serviceerhverv, der forsynes af fjernvarme	pct.	60	60	60	60
	Udvikling i omfang af cementproduktion ift. 2022	pct.	0	0	0	0
	Elektrificering af lav- og mellemtemperatur industriprocesser	pct.	85	85	85	85
	Elektrificering af højtemperatur industriprocesser	pct.	60	60	60	60
	Brint i højtemperatur industriprocesser	pct.	20	20	20	20
	Elektrificering i intern transport i industrien	pct.	75	75	75	75
	Reduceret energiforbrug som følge af energieffektivisering i industri i forhold til 2022	pct.	-20	-20	-20	-20
	Øget el- og varmeproduktion fra biomassefyret kraftvarme med CO ₂ -fangst ift. Kendt Omstilling	pct.	0	65	0	0
	CO ₂ -fangst	Andel af brændstofproduktion, herunder biogasopgradering med CO ₂ -fangst	pct.	100	100	100
Andel af cementproduktion med CO ₂ -fangst		pct.	100	100	100	100
Andel af udledning fra kraftvarmeverker med CO ₂ -fangst		pct.	90	90	90	90
Andel af udledning fra øvrige punktkilder i industri og fra fjernvarmekedler med CO ₂ -fangst		pct.	50	50	50	50
Andel af udledning fra affaldsforbrændingsanlæg med CO ₂ -fangst		pct.	90	90	90	90
Anvendes DACCS som marginalt omstillingselement for at nå klimamål?		-	ja	nej	ja	ja
Fangsteffektivitet ved kulstoffangst fra punktkilder		pct.	95	95	95	95

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

Klimarådet.

Tabel 8.12 Antagelser og omstillingselementer for transport og drivmidler

	Enhed	Ny Tekno- logi 110	Alternativt scenarie 2	Alternativt scenarie 3	Alternativt scenarie 5	Alternativt scenarie 6
Transportbehov	Rammebetingelse om, at al grønt brændstof til bunkring skal mødes af national produktion	-	ja	ja	ja	ja
	Energiforbrug til international luftfart ift. 2019	pct.	24	24	24	24
	Energiforbrug til internationalt skibsfart ift. 2019	pct.	9	9	9	9
	Transportbehov i indenrigsluftfart ift. 2024	pct.	20	20	20	20
	Transportbehov i indenrigsskibsfart ift. 2024	pct.	-5	-5	-5	-5
	Transportbehov i jernbane ift. 2024	pct.	-19	-19	-19	-19
	Transportbehov i vejtransport ift. 2019	pct.	24	24	24	24
Drivmidler	Andel af vejtransport, der er fossilfri	pct.	100	100	100	100
	Andel af international luftfart, der dækkes af jet fuel (bio- og elektrobrændstof)	pct.	88	88	88	88
	Andel af international luftfart, der dækkes af brint	pct.	10	10	10	10
	Andel af international luftfart, der dækkes af el	pct.	2	2	2	2
	Andel af international skibsfart, der dækkes af ammoniak	pct.	75	75	75	75
	Andel af international skibsfart, der dækkes af kulstofholdige brændstoffer	pct.	25	25	25	25
	Andel af indenrigsluftfart på el	pct.	100	100	100	100
	Andel af indenrigsskibsfart på metanol	pct.	0	0	0	0
	Andel af indenrigsskibsfart på brint	pct.	30	30	30	30
	Andel af indenrigsskibsfart på el	pct.	70	70	70	70

Anm.: Markering med fed angiver de alternative scenariers afvigelser fra hovedscenariet.

Kilde: Klimarådet.

- ¹ Energy Modelling Lab, *DK-BioRes 2.0*, 2024, (<https://energymodellinglab.com/supporting-the-council-on-climate-change/>).
- ² Klimarådet, *Danmarks klimamål i 2050, Baggrundsnotat 2 Modellering af bioressorcer og drivhusgasudledning fra landbrug, skovbrug og arealer*, 2024.
- ³ Klimarådet, *Danmarks klimamål i 2050, Baggrundsnotat 2 Modellering af bioressorcer og drivhusgasudledning fra landbrug, skovbrug og arealer*, 2024.
- ⁴ Personlig kommunikation med Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet, februar 2024.
- ⁵ Rasmussen, C., Mortensen, E. Ø., Wenzel, H., Ambye-Jensen, M., Jørgensen, U., *Scenarier for anvendelse af biomasseressourcer i fremtidens produktionssystemer for fødevarer, energi og materialer inden for rammerne af gældende politik for landbrug, miljø, klima, natur og energi*, 2022, DCA, Aarhus Universitet.
- ⁶ Personlig kommunikation med Uffe Jørgensen, Aarhus Universitet, februar 2024.
- ⁷ Klima-, Energi og Forsyningsministeriet, *Klimastatus og -fremskrivning 2024*, 2024.
- ⁸ Nielsen, O.-K., Plejdrup, M. S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M. H., Albrektsen, R., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H. G., Levin, L., Callisen, L. W., Andersen, T. A., Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Stupak, L., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S. B., Baunbæk, L., Hansen, M. G., *Denmark's National Inventory Report 2023*, 2023, DCE, Aarhus Universitet.
- ⁹ Regeringen, *Ansvar for Danmark*, 2022.
- ¹⁰ Regeringen og parterne i den grønne trepart, *Aftale om et Grønt Danmark*, 2024.
- ¹¹ Regeringen og aftaleparter, *Natur- og biodiversitetspakken*, 2020.
- ¹² Regeringen, *Ansvar for Danmark Det politiske grundlag for Danmarks regering*, 2022.
- ¹³ Klima-, energi- og forsyningsministeriet, *Aftale mellem regeringen (Socialdemokratiet), Venstre, Dansk Folkeparti, Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti og Det Konservative Folkeparti om fremtiden for olie- og gasindvinding i Nordsøen af 3. december 2020*, 2020 og Retsinformation, *Bekendtgørelse af lov om anvendelse af Danmarks undergrund*, 2023.
- ¹⁴ The International Civil Aviation Organization (ICAO), *Report On The Feasibility Of A Long-Term Aspirational Goal (LTAG) For International Civil Aviation CO2 Emission Reductions*, 2022 og Air Transport Action Group (ATAG), *Waypoint 2050*, 2021.
- ¹⁵ Öko-Institut e.V., *E-fuels versus DACCS*, 2021 og Sacchi, R., Becattini, V., Gabrielli, P., Cox, B., Dirnaichner, A., Bauer, C., Mazzotti M., *How to make climate-neutral aviation fly*, 2023, Nat Commun 14, 3989.
- ¹⁶ Regeringen og aftaleparter, *Natur- og biodiversitetspakken*, 2020.
- ¹⁷ Beucher, A., Weber, P. L., Hermansen, C., Pesch, C., Koganti, T., Møller, A. B., Gomes, L., Greve, M., Greve, M.H., *Updating the Danish peatland maps with a combination of new data and modeling approaches*, 2023, DCA, Aarhus Universitet.
- ¹⁸ Regeringen, *Klimaafale om grøn strøm og varme (Klimaafale 2022)*, 2022.
- ¹⁹ Energistyrelsen, *Analyseforudsætninger til Energinet 2023 (AF23): Dataark*, 2023, (<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller-analyseforudsætninger-til-energinet>); Energistyrelsen, *Teknologikatalog for produktion af el og fjernvarme: Dataark for el og fjernvarmeproduktion – opdateret februar 2024*, 2024, (<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalogproduktion-af-el-og>).
- ²⁰ Niras, *Kortlægning af biomasser til biokul og CO2-potentialer*, 2023, (https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/06/NIRAS-biomasse-rapport_til-udgivelse.pdf).
- ²¹ Energistyrelsen, *Technology Data – Carbon Capture, Transport and Storage*, 2024 og Global CCS Institute, *State Of The Art: CCCS Technologies 2023*, 2023.
- ²² Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping, *Fuel Options Position Paper*, 2021 og International Renewable Energy Agency, *A Pathway to Decarbonising the Shipping Sector By 2050*, 2021.
- ²³ Energistyrelsen, *Klimastatus og -fremskrivning 2023 (KF23): Skov og høstede træprodukter. Sektornotat nr. 10D*, 2023.
- ²⁴ Nord-Larsen, T., Brownell II, P. H., Johannsen, V. K., *Forest Carbon Pool Projections 2024*, 2024, IGN, Københavns Universitet.
- ²⁵ Lov om klima, Lov nr. 965 af 26. juni 2020.
- ²⁶ European scientific advisory board on climate change. *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050*, 2021. Frank et al., *Land-based climate change mitigation potentials within the agenda for sustainable development*, *Environ. Res. Lett.* 16, 2021.
- ²⁷ Material Economics. *EU Biomass use in a Net-Zero Economy*, 2021.
- ²⁸ European scientific advisory board on climate change. *Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050*, 2021.
- ²⁹ Frank et al., *Land-based climate change mitigation potentials within the agenda for sustainable development*, *Environ. Res. Lett.* 16, 2021.
- ³⁰ Energy Transmissions Committee (ETC), *Bioresources within a Net-Zero Emissions Economy: Version 1.0 July*, 2021.
- ³¹ International Energy Agency (IEA), *Net Zero by 2050*, 2021.
- ³² Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Klimastatus og -fremskrivning 2024 National energibalance*, 2024.
- ³³ Regeringen, *Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer (Power-to-X strategi)*, 2022.
- ³⁴ Fairbrother, M., *Public opinion about climate policies: A review and call for more studies of what people want*, 2022, PLOS Clim 1(5). og; Arler F, Sperling K, Borch K. *Landscape Democracy and the Implementation of Renewable Energy Facilities*, 2023, 16(13):4997; og Sparkman G, Howe L, Walton G., *How social norms are often a barrier to addressing climate change but can be part of the solution*, 2021, Behavioural Public Policy, 5(4):528-555.
- ³⁵ Klimarådet, *Statusrapport 2024*, 2024
- ³⁶ Klimarådet, *Danmarks fremtidige arealanvendelse*, 2024
- ³⁷ Grubb, M., Drummond, P., Poncia, A., McDowall, W., Popp, D., Samadi, S., Penasco, C., Gillingham, K.T., Smulders, S., Glachant, M., Hassall, G., Mizuno, E., Rubin, E.S., Dechezleprêtre, A., Pavan, G., *Induced innovation in energy technologies and systems: a review of*

evidence and potential implications for CO2 mitigation, 2021, Environmental Research Letters, 16, 4 (<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde07>);

³⁷ Klimarådet, *Danmarks globale klimaindsats*, 2023

³⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Faostat Production Crops and livestock products*, 2023, (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).

³⁹ Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De León, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., Sausen, R., Wilcox, L. J., *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*, 2021, Atmospheric Environment, 244, 117834.

⁴⁰ Teoh, R., Schumann, U., Majumdar, A. and Stettler, M., *Mitigating the Climate Forcing of Aircraft Contrails by Small-Scale Diversions 1 and Technology Adoption*, 2020, Environmental Science & Technology, 54(5), 2941-2950.