



Ea Energianalyse

August
2024

Et bæredygtigt energisystem frem mod 2040

Scenarieanalyse

Udarbejdet af:

Ea Energianalyse
Gammeltorv 8, 6 tv.
1457 København K
www.eaea.dk



Indhold

1. Opsamling	4
2. Baggrund og metode	16
3. Scenarieanalyse	17
4. Appendix A: Brændsels- og CO ₂ -priser	41
5. Appendix B: Andre beregningsforudsætninger	43

Figurliste

<i>Figur 1-1: Samlet drivhusgasbalance.</i>	7
<i>Figur 1-3: Udviklingen i behovet for flydende VE-brændstoffer.</i>	9
<i>Figur 1-4: Udvikling i forbruget af fast biomasse.</i>	11
<i>Figur 1-5: Fangst og anvendelse af biogen kulstof.</i>	11
<i>Figur 1-6: VE-brændstofproduktion fordelt på typer og kilder.</i>	12
<i>Figur 1-7: Udvikling i endeligt energiforbrug.</i>	13
<i>Figur 1-8: Bruttoenergiforbrug.</i>	13
<i>Figur 1-9: Samfundsøkonomiske meromkostninger.</i>	15
<i>Figur 3-1: Scenarieoversigt.</i>	17
<i>Figur 3-2: Samlet udvikling i drivhusgasudledning.</i>	18
<i>Figur 3-3: Udvikling af energiforbrug til udenrigstransport.</i>	20
<i>Figur 3-4: Fordeling af trafikarbejdet for personbile.</i>	21
<i>Figur 3-5: Udvikling i energiforbrug til vejgående transport.</i>	21
<i>Figur 3-6: Udvikling i energiforbrug til øvrig transport (jernbaner, fly, søfart).</i>	22
<i>Figur 3-7 udvikling i CO₂-udledninger til alt transport</i>	22
<i>Figur 3-8 Samfundsøkonomiske meromkostninger af transportsektoren.</i>	23
<i>Figur 3-9: Udvikling i varmeteknologi for husholdninger.</i>	24
<i>Figur 3-10: Udvikling i drivhusgasudledning for husholdninger.</i>	24
<i>Figur 3-11 Samfundsøkonomiske meromkostninger for husholdninger</i>	25
<i>Figur 3-12 Udvikling i energiforbruget fordelt på energikilder for serviceerhverv</i>	25
<i>Figur 3-13: Udvikling i drivhusgasudledning for serviceerhverv.</i>	26
<i>Figur 3-14 Samfundsøkonomiske meromkostninger af serviceerhverv.</i>	26
<i>Figur 3-15: Fordeling af energiforbrug i fremstillingserhverv i 2040.</i>	27
<i>Figur 3-16: Energiforbrug i fremstillingsvirksomheder.</i>	28
<i>Figur 3-17 Procesudledninger fra fremstillingserhverv</i>	28
<i>Figur 3-18 Samfundsøkonomiske meromkostninger af fremstillingserhverv</i>	29
<i>Figur 3-19: Udvikling af det europæiske elforbrug</i>	30
<i>Figur 3-20: Sammensætningen af elproduktionen i det Europæiske elsystem</i>	30
<i>Figur 3-21: Forudsat minimumsudbygning med havvind i Danmark.</i>	31
<i>Figur 3-22: Elproduktion i Danmark i de opstillede scenarier.</i>	32
<i>Figur 3-23: Dansk nettoeksport af el og brint i de opstillede scenarier</i>	32
<i>Figur 3-24: Udvikling af elproduktionskapaciteten i Danmark i de opstillede scenarier.</i>	33
<i>Figur 3-25: Varmeproduktion fordelt på energikilder</i>	33
<i>Figur 3-26: Gennemsnitlige fuldlasttimer for termiske værker og varmepumper i Danmark</i>	34
<i>Figur 3-27: Indfyret kapacitet på affaldsværker i de opstillede scenarier</i>	34
<i>Figur 3-28 Emissioner fra husdyr</i>	37
<i>Figur 3-29 Oversigt over skovareal i henholdsvis kf23+ og transformationsscenarioet</i>	38
<i>Figur 3-30 Oversigt over optag fra skov i scenarierne</i>	38

1. Opsamling

Introduktion

Rådet for Grøn Omstilling (RGO) har et mål om, at vi i Danmark og globalt igen kommer i pagt med de planetære grænser¹. Ambitionen er, at Danmark i 2040 har omstillet sin økonomi og sit forbrug, så resourceforbruget ligger inden for de planetære grænser. I den forbindelse har RGO bedt Ea Energianalyse om at udarbejde en scenarieanalyse som baggrund, der viser vejen mod et energisystem, der kan betegnes som bæredygtigt.

Formålet med analysen er:

1. at anskueliggøre en realistisk vej til netto nul-udledning af klimagasser senest i 2040 for hele samfundet inklusiv international transport
2. at give en forståelse for de økonomiske og forsyningssikkerhedsmæssige forhold som en hurtig omstilling af energisystemet vil medføre, samt
3. at give et indblik i behovet for allerede nu at indtænke handlinger. (Udbygning af VE, elektrificering af transportsektoren, osv.)

Der er opstillet tre scenarier med nedslagspunkter i 2025, 2030, 2035 og 2040. Udgangspunktet for fremskrivingerne er udgangsåret 1990 og basisåret 2022. Hovedresultatet af scenarieanalysen er en gennemgang af forskellene mellem en Frozen Policy-udvikling, baseret på Danmarks Klimafremskrivning, og en bæredygtig udvikling baseret på målet om netto nul i 2040 samt ændret udvikling i landbruget, der af RGO vurderes bæredygtig.

KF23-scenariet

Følger Energistyrelsens frozen policy klimafremskrivning fra 2023

KF23+-scenariet

Tager udgangspunkt i KF23, men medtager nye udviklingstendenser og udenrigstransport

Transformationsscenariet (TF)

Et energisystem inden for de planetære grænser senest i 2040

Da analysen er udarbejdet i løbet af foråret 2024, er referencescenariet fastlagt pba. Energistyrelsens Klimafremskrivning 2023 (KF23). For at indarbejde forventede ændringer i KF24, er der udarbejdet et *KF23+ scenarie*. Her medtages udvalgte elementer, som var kendte på analysetidspunktet, fx opdaterede

¹ Planetære grænser er et begreb der beskriver et "safe operating space" for menneskelige aktiviteter, der påvirker biofysiske systemer på kloden bl.a. klima.

lavbundslandsarealer. Endvidere medtager *KF23+-scenariet* også en Frozen Policy-udvikling af Danmarks andel af den internationale transport.

Danmarks udledning af klimagasser beregnes efter samme grundprincipper som anvendt i Danmarks Klimafremskrivning 2023, hvilket betyder at såkaldte scope-3-udledninger (også kaldet forbrugsudledninger) ikke indgår.

Til beregning af nettoudledning af klimagasser ved afbrænding af fast træbiomasse og genanvendeligt træaffald anvendes en emissionsfaktor på 30 kg CO₂ per GJ. Dette håndteres ved at tillægge LU-LUCF-sektoren et nettooptag, når der i TF-scenariet brændes mindre indenlandsk træbiomasse og træaffald end i KF23+-scenariet.

Omkostningerne ved at gennemføre TF-scenariet er i hvert analyseår beregnet som differensomkostninger til KF23+-scenariet (Omk. TF minus Omk. KF23+). I omkostningsberegningen indgår ikke skatter og afgifter (samfundsøkonomi). Det antages ved prissætning, at hovedparten af investeringerne foretages i den private sektor ved en realrente på 5%. Der er ikke beregnet nutidsværdi, og følgende er ikke prissat: Omlægninger i landbrug, øget skovrejsning og øget udtag af lavbundslande og afvikling af offshore og olieraffinering.

Ændringer i forhold til Klimafremskrivning 2023:

Klimagasudledning fra international transport medregnes. Fremskrivning af energiforbrug til international transport baseres på Klimaprogram 2022, som også ligger til grund for Analyseforudsætninger 2023.

Der anvendes ændrede faktorer for emission fra lavbundslande og for skove baseret på opgørelser fra Aarhus Universitet og Københavns Universitet fremlagt i foråret 2024.

Ved **anvendelse af VE-brændstoffer** vises den fysiske emission af CO₂. For TF-scenariet er der opstillet en kulstof-balance der sikrer, at al kulstof anvendt til produktion af biobrændstoffer kan skaffes indenfor Danmarks grænser. Kilden til kulstoffet, der indgår i produktionen af VE-brændstoffet, angives som negativ emission. VE-brændstof baseret på DAC vil således have en netto-emission på nul, mens VE-brændstof baseret på træbiomasse-CCS vil have en netto-emission på 30 kg/GJ. baseret på antagelse om tabt lagring i LULUCF-sektoren. I KF-scenerierne er der ikke opstillet en kulstofbalance og det er ikke defineret, hvor VE-brændstoffer produceres, men den fysiske emission af VE-brændstoffer vises alligevel. Kulstoffet kunne være skaffet fra de kulstofkilder, som scenariet viser (biomasse-CCS) og som vises som negativ emission, eller importeret fra udlandet. Såfremt VE-brændstoffet importeres fra udlandet, vil der i et globalt perspektiv fremgå en negativ emission andre steder i verden, som kan sikre, at netto-emissionen fra VE-brændstoffet er nul eller lav nok til eksempelvis at opfylde kravene i VE-direktivet.

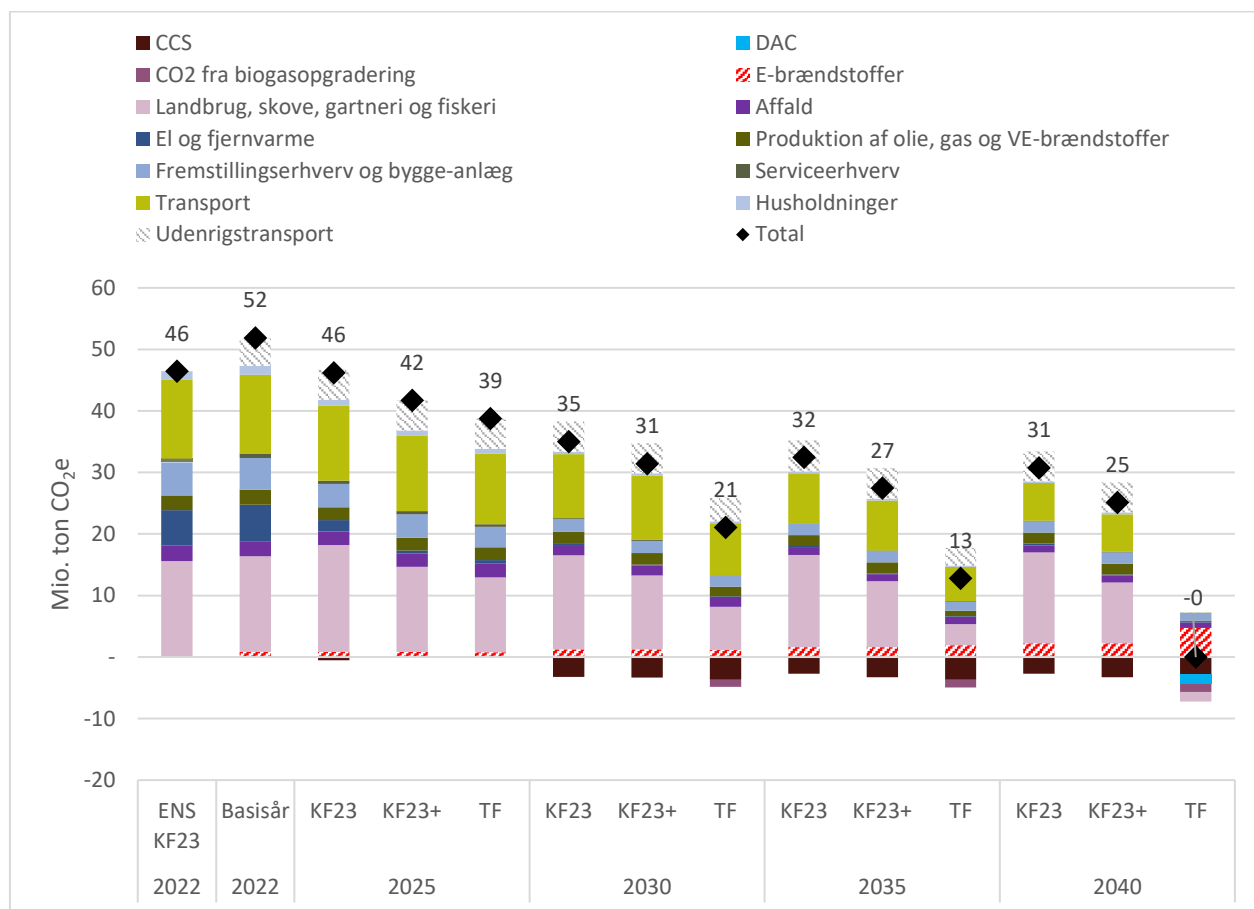
Hovedresultater

- Nettoudledningen af drivhusgasser i KF23+-scenariet er beregnet til ca. 25 mio. ton CO₂-e i 2040 inklusiv international transport. Nettoudledningen falder i Transformationsscenariet til nul i 2040.
- Den samlede årlige meromkostning ved TF-scenariet sammenlignet med KF23+-scenariet er beregnet til 6,2 mia. kr./år omkring 2040. Heri indgår dog ikke omkostningsberegninger til omlægninger i landbruget m.v.

- Vidtgående elektrificering i alle sektorer, herunder fuld elektrificering af den vejgående transport i 2040, 30% varmepumpedækning af rumvarmebehovet og knap 75% elektrificering af industriens energibehov.
- Hurtig udbygning af vind og sol i Danmark. I Transformationsscenariet udbygges også landvind markant.
- Prioritering af biogene restprodukter fra landbrug og industri til produktion af biogas.
- Reduktion af nettoopvarmningsbehovet med 6% i 2040 ved øget energireovering.
- Vidtgående udfasning af træbiomasseforbrug til energi, så der maksimalt anvendes 10,5 PJ fast biomasse i 2040. Herved opnås øget kulstoflagring i LULUCF-sektoren sammenlignet med KF-scenariet.
- Øget udsortering af affald og dermed en 75% reduktion af affald til forbrænding i 2040 ift. 2020 (Øger også kulstoflagring i LULUCF-sektoren sammenlignet med KF-scenariet).
- Reduktion af emissioner fra landbruget (udtag af lavbundslande, reduktion i dyrebestand, reduktion i dyrket areal mv) – Forudsætninger baseret på *Fra Foder til Føde II (FFTF II)*
 - Landbrugsarealet er i 2040 reduceret med i alt ca. 950.000 ha, som er baseret på reduktionen på 870.000 ha (heraf 680.000 ha dyrket areal og 190.000 ha permanent græsarealer) i FFTF II, svarende til 34% af udgangspunktet på 2,54 mio. ha. angivet i FFTF II for 2020. De 34% reduktion er her sat ift. KF23's estimat for dyrkede marker i 2040.
 - Alle lavbundslande udtages frem mod 2040.
 - For husdyr følger TF-scenariet FFTF II, hvor det forudsættes at dansk landbrug i vid udstrækning omlægges til at producere plantebaserede fødevarer. Dette medfører en reduktion på 95% for svin, 70% for kvæg, 75% for fjerkræ og 10% for får og geder frem mod 2040.
 - Skovrejsning af yderligere ca. 290.000 hektar skov i 2040 (sammenlignet med KF23+). FFTF II viser en skovrejsning på 300.000 ha, hvor KF23 allerede inkluderer 30.000 ha. Hertil er der lagt yderligere skovrejsning for at sikre et netto-nul-scenarie i 2040.
- Produktion af 90 PJ VE-brændstoffer, som bl.a. kan dække Danmarks andel af udenrigsflyvninger og skibsfart.
- Stop for produktion af (og udledning fra) fossile olie- og gasprodukter.
- DAC (direct-air-capture) af 1,65 mio. ton CO₂ i 2040 for at sikre kulstofbalancen til produktion af VE-brændstoffer.

Transformationsscenariet viser en vej mod netto-nul emission i 2040 (Figur), samtidig med at 2030-målet om 70% reduktion ift. 1990 så godt som opfyldes, når emission forbundet med udenrigstransport inkluderes. Uden indregning af international transport og tilhørende DAC overopfyldes målsætningen med ca. 3,1 mio. ton/år. Som et bidrag til at nå netto-nul i 2040 indregnes øget kulstoffoptag i LULUCF-sektoren på 1,6 mio. tons CO₂ ved mindsket forbrænding af indenlandsk træbiomasse og affaldstræ sammenlignet med KF23+. Dette indgår i figuren som en del af kategorien "landbrug og skove".

På trods af kraftig elektrificering og effektivisering på tværs af sektorer kræver et netto-nul scenarie i 2040, der også dækker den internationale transport, at der skaffes kulstof til produktion af flydende brændstoffer. De primære kilder til kulstof kan ikke dække efterspørgslen efter flydende brændsler i 2040. Derfor er der behov for ca. 1,65 Mton CO₂, fanget vha. DAC. De primære kilder er brændstofproduktion baseret på biogas, CO₂-fangst i forbindelse med biogasopgradering samt CO₂-fangst på affaldsfyrede og biomassefyrede kraftvarmeanlæg.



Figur 1-1: Samlet drivhusgasbalance. Inkluderer emissioner fra international transport.

CO₂-fangst

I Transformationsscenarioet bliver der i 2040 teknisk indfanget i alt 4,0 mio. ton CO₂, fraregnet DAC. 1,4 mio. ton bliver indfanget på biomasse- og affaldskraftvarmeværker, mens det er forudsat, at der kommer CCS på Aalborg Portland, som indfanger CO₂ både fra de proces- og energirelaterede udledninger, hhv. 0,8 og 0,5 mio. ton. Yderligere bliver der ifm. produktion af 42,3 PJ opgraderet biogas indfanget 1,3 mio. ton CO₂. For at dække det samlede kulstofbehov til produktion af flydende brændsler, samt sikre en netto-nul balance, indfanges også 1,65 mio. ton CO₂ direkte fra luften ved DAC.

Tabel 1: Indfanget CO₂ i Transformations-2040-scenariet fordelt på kilde og fossil/biogen andel.

Transformationsscenariet 2040	Fossilt (mio. ton CO ₂)	Biogent (mio. ton CO ₂)	Total indfanget (mio. ton CO ₂)
CCS på biomasse-kraftvarme	-	0,69	0,69
CCS på affald-kraftvarme	0,19	0,62	0,80
CCS på Aalborg Portland			1,26
- Procesudledninger	0,75	-	
- Energiforbrug	-	0,51	
Biogasopgradering	-	1,27	1,27
DAC		1,65	1,65
Total indfanget CO₂	0,93	4,72	5,67

Bæredygtige VE-brændstoffer

Mod 2040 skal alle brændstoffer være bæredygtige. Det antages ikke, at der i nævneværdigt omfang kan produceres bæredygtige biobrændstoffer baseret på landbrugsafgrøder. Dog antages det, at biogene restprodukter fra landbrug og industri som hovedregel anvendes til produktion af biogas.

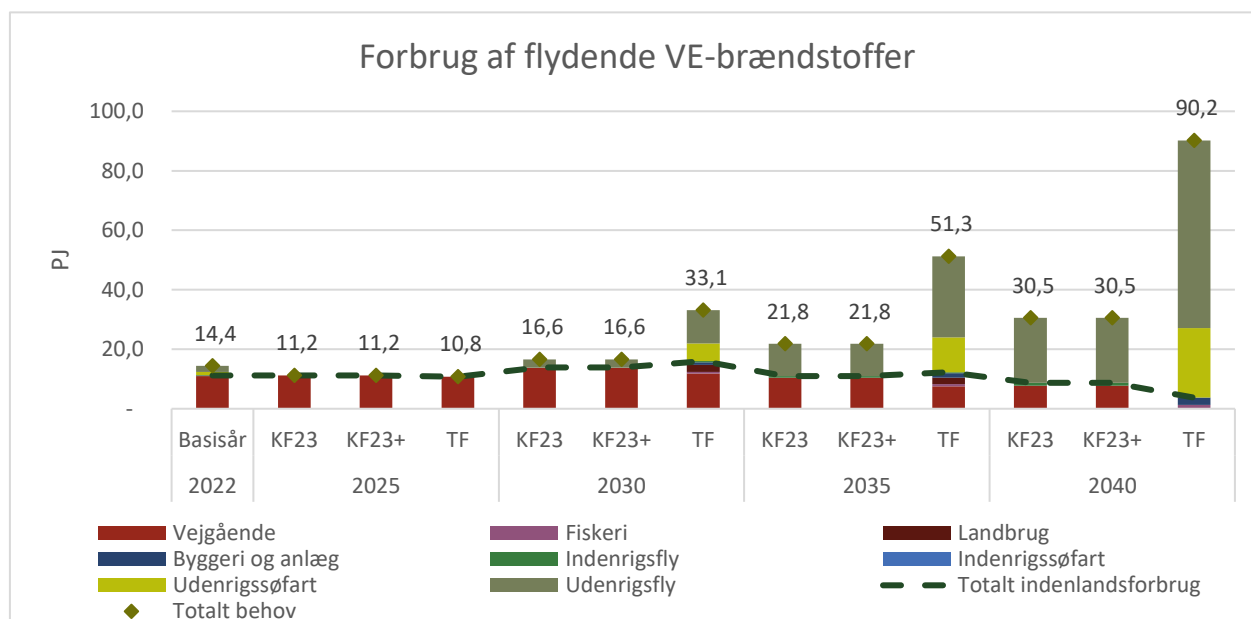
Bæredygtige brændstoffer produceres derfor som hovedregel ved forskellige typer af PtX-processer. Da biogent kulstof er en knap ressource, er der i denne analyse regnet på kulstoffrit brændstof i den maritime sektor (ammoniak) i 2040., imens kulstoffet især prioriteres til flybrændstof. Hvorvidt udviklingen reelt går den vej, er naturligvis usikkert, og der udvikles i dag kulstofholdige VE-brændstoffer til den maritime sektor. Behovet for flydende og gasformige brændstoffer bliver i analysen dækket efter følgende prioritering:

- Biogas (al ledningsgas efter 2030) hvor det er muligt (industri)
- Biobrændstof baseret på biogas (fly)
- PtX baseret på udrenset CO₂ fra opgraderet biogas samt forbrænding af biomasse (fly)
- PtX baseret på fangst af CO₂ direkte fra luften

Behov for VE-brændstoffer

I år 2040 forventes behovet for VE-baserede brændstoffer at stige markant, når Danmark skal dække behovet fra dele af den internationale transport. Ifølge fremskrivningen vil behovet nå 90 PJ i 2040. Heraf udgør brændstofbehovet til udenrigsfly ca. 63 PJ, mens udenrigssøfart udgør ca. 23 PJ.

Det indenlandske forbrug af VE-baserede brændstoffer er til sammenligning relativt beskedent og falder frem mod 2040, i takt med at særligt vejtransporten elektrificeres. I 2040 vil det danske behov primært være drevet af bygge- og anlægssektoren, og udgøre ca. 4 PJ.



Figur 1-2: Udviklingen i behovet for flydende VE-brændstoffer.

Gasbehovet falder i 2040 til knap 21 PJ som følge af gennemgående elektrificering. Der er hermed 21,5 PJ "overskydende" biogas. I scenariet anvendes dette til produktion af flybrændstof, da omkostningerne er lavere ved biogas som kulstofkilde end ved CO₂ som kulstofkilde.

Tabel 2: Behov for VE-brændstoffer samt produktionsproces. * Det er en beregningsforudsætning at kulstoffet ikke prioriteres til udenrigssøfart fra 2040.

Transformationsscenarioet 2040	Energibehov (PJ)	VE-brændstof
Fiskeri, landbrug og bygge-anlæg	3,7	Fra biogas + Fischer-Tropsch
Udenrigssøfart	23,3	Ammoniak fra E-brint (*)
Udenrigsfly	63,1	Jet-fuel fra E-brint og kulstof Jet-fuel fra biogas og Fischer-Tropsch
Total	90,2	

Produktion af VE-brændstoffer

Produktionen af VE-brændstoffer til at dække forbruget i 2040 er i Transformationsscenarioet baseret på brint, kulstof og biogas.

I Transformationsscenarioet bliver 15% af behovet for VE-brændstof produceret på den overskydende biogas, mens det resterende behov skal produceres på grøn brint. For produktionen af flybrændstof er der et kulstofbehov.

Tabel 3: Energibehov i referencen samt behov for brint, CO₂ og biogas i Transformationsscenariet.

Transformationsscenariet 2040	Energibehov i referencen (PJ)	Brintbehov (PJ)	Kulstofbehov (mio. ton CO ₂)	Biogasbehov (PJ)
Fiskeri, landbrug, bygge-anlæg	3,7	0,1	-	5,6
Udenrigssøfart	23,3	27,1	-	-
Udenrigsfly (biogasbaseret)	10,6	0,2	-	15,9
Udenrigsfly (brintbaseret)	52,5	74,4	4,7	-
Total	90,1	101,8	4,7	21,5

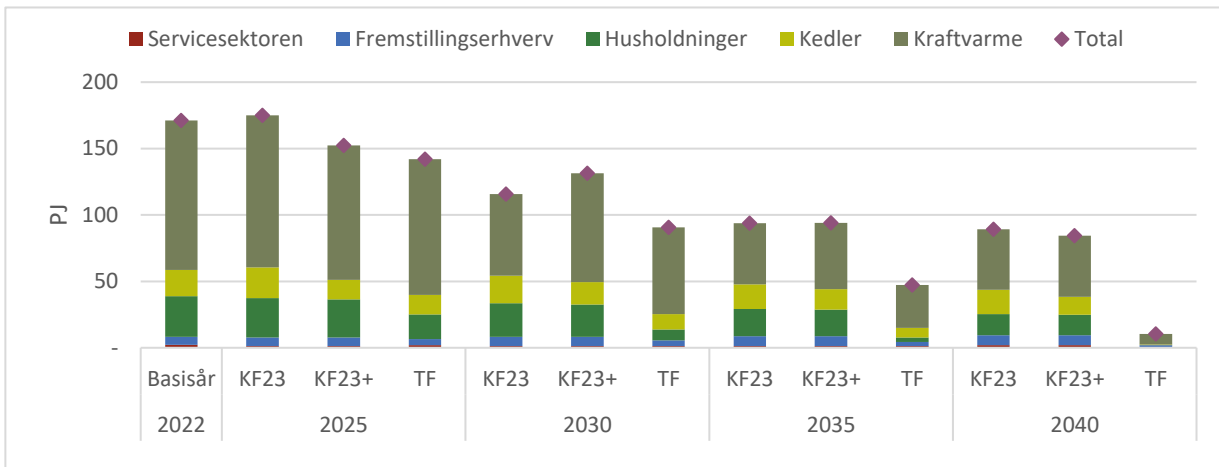
I Transformationsscenariet kan der i alt indfanges 3 mio. ton biogen CO₂. Eftersom den samlede efterspørgsel efter CO₂ er 4,7 mio. ton, skal det resterende behov på 1,65 mio. ton dækkes af Direct Air Capture (DAC).

I denne analyse antages det, at omkostninger til DAC reduceres til godt 2.000 DKK/Ton i 2040 – heraf en væsentlig del til el. Det betyder, at omkostningerne til DAC fortsat er betydelig højere end til CO₂-fangst direkte fra kilden.

Anvendelse af fast biomasse til energi

I Transformationsscenariet sker der en vidtgående udfasning af biomasseforbruget, så der efter ønske fra opdragsgiver maksimalt anvendes 10,5 PJ træbiomasse til energi i 2040. Til sammenligning antages anvendelsen af fast biomasse i Klimafremskrivningen at ligge på ca. 81 PJ for 2040². Det er primært træbiomasse til energi, der giver tab af kulstof i LULUCF-sektoren. Desuden er det kun træ fra indenlandske kilder, der påvirker det danske regnskab. Det vurderes, at træbiomasse fra indenlandske kilder udgør ca. 53 PJ og dertil ca. 17 PJ biogen andel af affaldsforbrændingen. I Transformationsscenariet anvendes ca. 10,5 PJ træbiomasse og ca. 12 PJ biogent affald. Med en gennemsnitlig emissionsfaktor på 30 kg CO₂/GJ træbiomasse har Transformationsscenariet en indenlandsk reduktionseffekt på 1,6 mio. ton i 2040, som viser sig i form af et øget kulstoflager i skovene og et forbedret LULUCF-regnskab. Dette ekstra lager bruges til at nå Transformationsscenariets mål om netto-0 udledninger i 2040. Da importen samtidig falder til nul, fås en udenlandsk reduktionseffekt på ca. 0,9 Mton (ej indregnet).

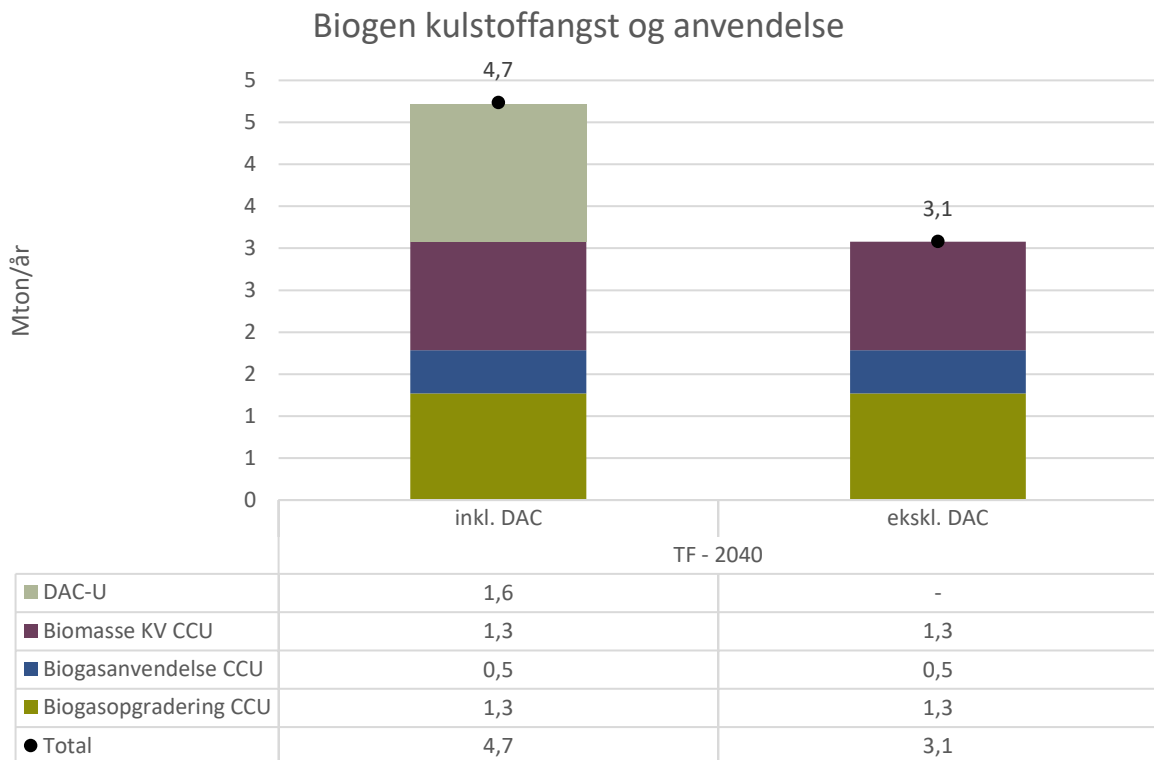
² Antaget lineært fald mellem 2030 og 2040, da fremskrivningen kun går frem til 2035.



Figur 1-3: Udvikling i forbruget af fast biomasse.

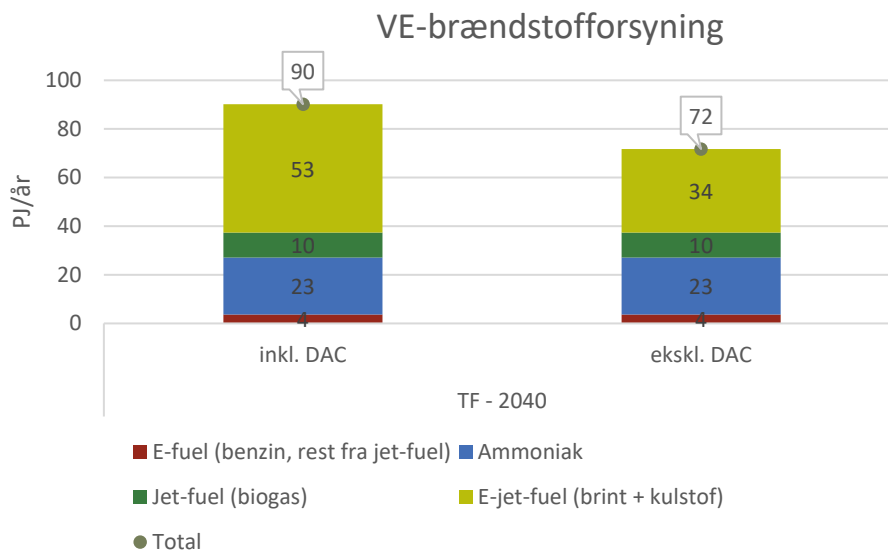
Kulstofbalancen og netto-nul målet

Transformationsscenariet viser, at realiseringen af et netto-nul emissionsamfund for Danmark, inklusiv Danmarks andel af international transport, er vanskelig at opfylde med de givne randbetingelser. Der kræves negative emissioner på godt 1,65 Mton CO₂, der i analysen ikke kan leveres biogent, og derfor kun kan forsynes ved DAC.



Figur 1-4: Fangst og anvendelse af biogen* kulstof. *Inkluderer kulstof fanget via DAC. -U angiver anvendelse til produktion af flydende brændsler.

Sammen med brændstofproduktionen baseret på biogas fås en samlet jet-fuel mængde på ca. 29 PJ sammenlignet med de 63 PJ i Transformationsscenarioet. Såfremt DAC ikke realiseres, vil der mangle ca. 18 PJ CO₂-neutralt flybrændstof. Det vil kræve, at energiforbruget til udenrigsflytransport reduceres med omkring 27% sammenlignet med i dag, fremfor en forøgelse på ca. 61%, som antaget i referencen.



Figur 1-5: VE-brændstofproduktion fordelt på typer og kilder.

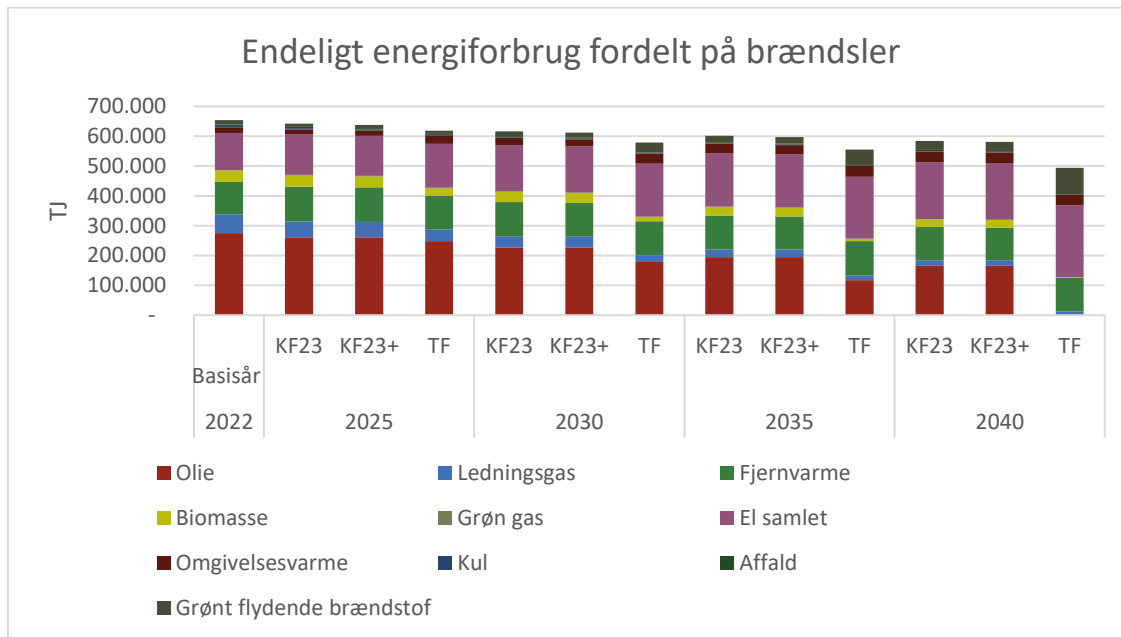
El- og fjernvarmeforsyning

Den øgede direkte og indirekte elektrificering og omlægning til fjernvarme stiller større krav til el- og fjernvarmeforsyningen i Danmark. Denne udfordring øges af et krav om at begrænse anvendelsen af fast biomasse til 10,5 PJ i 2040, hvilket RGO vurderer er det bæredygtige niveau indenfor de planetære grænser. Modelberegninger for energisystemet med energisystemmodellen Balmorel viser, at en øget udbygning med vindkraft og sol samt varmepumper og elkedler kan honorere de øgede krav til elforbrug og reduceret anvendelse af biomasse. Den gennemsnitlige elpris i Danmark påvirkes meget lidt, mens de gennemsnitlige omkostninger til at producere fjernvarme stiger med ca. 10%. Det skal dog nævnes, at kulstoftabet i LULUCF-sektoren fra forbruget af træ til energi her ikke er internaliseret i varmeprisen. En internalisering ville også give højere varmeomkostninger i referencen³.

Slutenergiforbrug

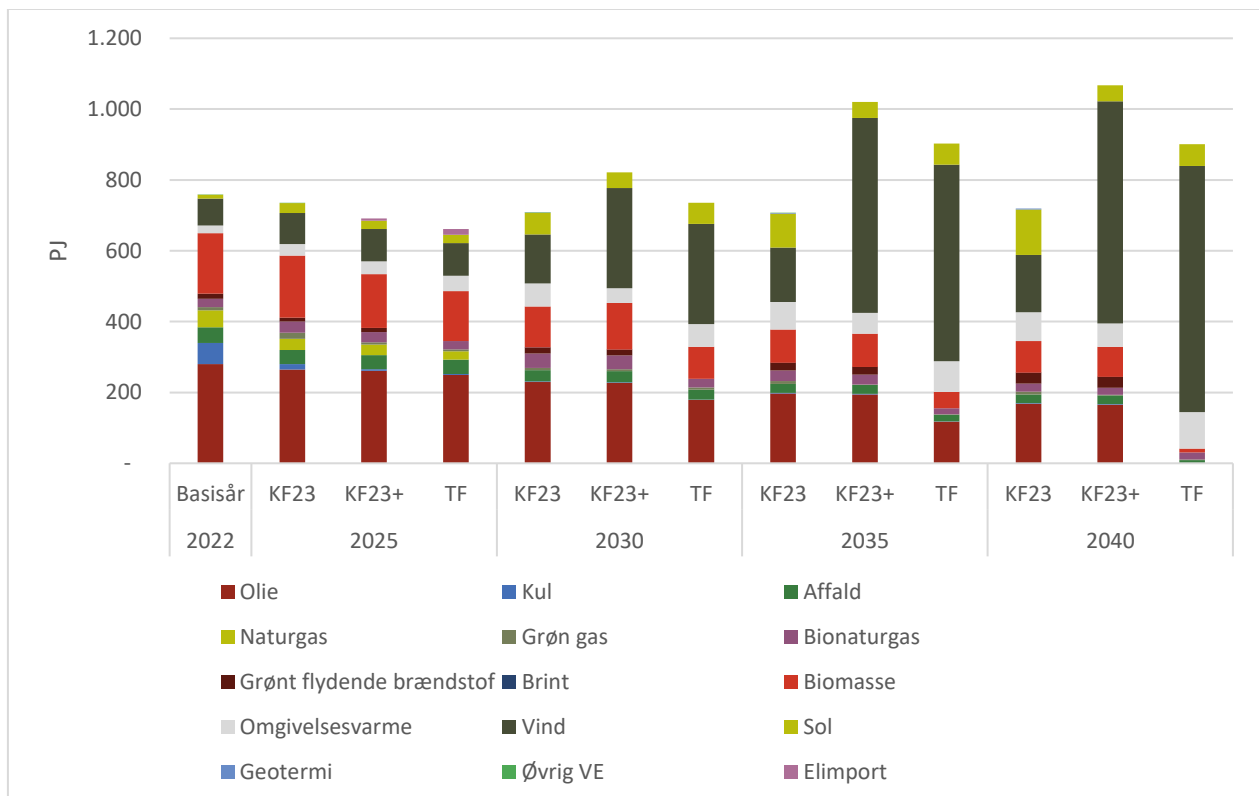
Danmarks energiforbrug frem til 2040 reduceres og baseres i højere grad på grønne energikilder i Transformationsscenarioet sammenlignet med referencen. Elektrificering og fjernvarme forbliver centrale komponenter, mens fossile brændstoffer som kul og olie gradvist udfases. Reduktionen i energiforbruget kan i stor grad forklares med øget elektrificering, eftersom eldrevne teknologier ofte er mere energieffektive end de teknologier, som erstattes. Eksempler på dette er elbiler og varmepumper, som erstatter henholdsvis diesel/benzinbiler og brændselsbaserede varmeproduktionsteknologier.

³ Det ville dog ikke ændre den samlede samfundsøkonomiske omkostning ved TF-scenariet, idet den øgede omkostning til biomasse modsvares af en øget indtægt i LULUCF-sektoren.



Figur 1-6: Udvikling i endeligt energiforbrug. *Inkluderer ikke elforbrug til DAC.

Det faktiske energiforbrug falder i Transformationsscenarioet, især på grund af en effektivisering i transportsektoren og øget renovering af bygningsmassen.



Figur 1-7: Bruttoenergiforbrug. El-eksport ikke inkluderet.



Økonomi

I Tabel 4 ses de samfundsøkonomiske meromkostninger ved Transformationsscenarioet sammenlignet med referencen i hvert beregningsår. Meromkostningerne er i 2040 beregnet til ca. 6,2 mia. kr./år. Dette inkluderer dog ikke omstillingsudgifter i landbruget, udgifter til øget skovrejsning eller den økonomiske betydning af stop for olie og gasproduktionen i Danmark. Dermed dækker den beregnede meromkostning ca. halvdelen af den samlede CO₂-reduktion i Transformationsscenarioet i 2040. Ligeledes er virkemiddelomkostninger⁴ til indfrielse af de antagne udviklinger ikke inkluderet. Investeringer tænkes som hovedregel udført af private kommercielle aktører, og der er typisk anvendt en realrente på 5% ved omkostningsberegninger for energiproduktionsanlæg, CO₂-fangstanlæg, PtX-anlæg mm.

Enkelte sektorer viser en positiv samfundsøkonomi, dvs. Transformationsscenarioet medfører lavere omkostninger for samfundet end referencen. Når disse økonomiske potentialer ikke indfries i referencen, kan det skyldes ikke-værdisat træghed for omstillingerne, herunder at investering spiller mere ind i beslutningsprocessen end de samlede omkostninger over levetiden. Dette kan især gælde elektrificering af vejtransporten og omstillingen i dele af opvarmningssektoren (omstilling til varmepumper) og dele af industrien (elektrificering af lavtemperaturprocesser). Beregningerne antager, at der er en samfundsøkonomisk værdi for Danmark ved at reducere CO₂-udledninger. Værdisætningen af CO₂ har derfor væsentlig betydning for den samlede økonomi. Når der ses bort fra eventuelle afledte effekter, vil en ændring af værdien af CO₂ i 2040 på 100 kr./ton betyde en ændring af økonomien i Transformationsscenarioet på ca. 1,2 mia. kr./år, svarende til 20% af det centrale estimat.

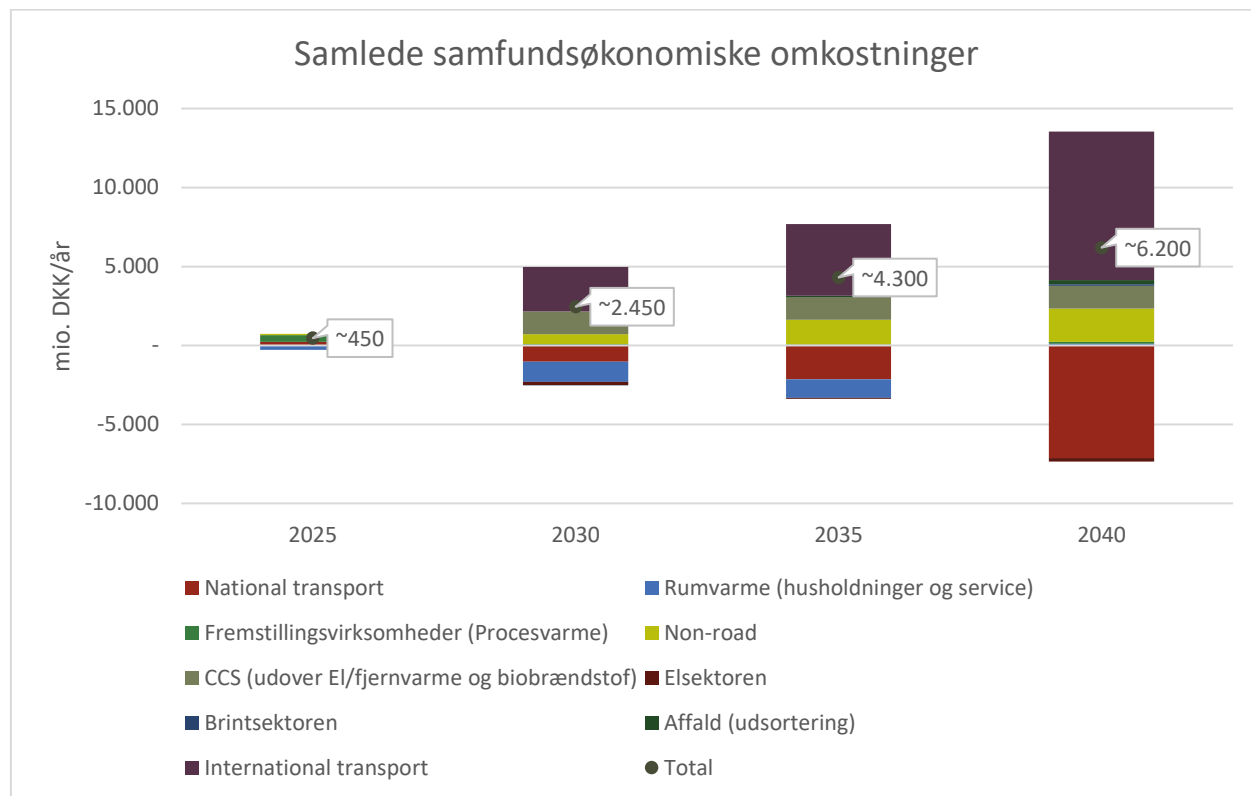
Tabel 4 Samfundsøkonomiske meromkostninger i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning. Udgifter til omstilling af landbrug og skovrejsning samt virkemiddelomkostninger er ikke inkluderet.

Mio. kr./år	2025	2030	2035	2040
National transport	229	-1.029	-2.143	-7.137
International transport	-	2.820	4.530	9.390
Rumvarme (husholdninger og service)	-277	-1.267	-1.177	114
Fremstillingsvirksomheder (Procesvarme)	431	81	71	108
Non-road	78	630	1.553	2.114
CCS (udover El/fjernvarme og biobrændstof)	-	1.440	1.440	1.440
Elsektoren	-	-214	-62	-206
Brintsektoren	-	-8	3	97
Affald (udsortering)	-	-	88	273
Skovrejsning/landbrug	-	-	-	-
Total	461	2.451	4.303	6.194

Faldet i forbruget af dansk træ til energi samt reduktionen af biogent affald vil føre til større kulstoflagre i danske skove og en forbedring af LULUCF- og Klimaregnskabet på 1,6 mio. ton CO₂ i 2040 jf. ovenfor. Dette har også en værdi for dansk økonomi, fordi bedre LULUCF-regnskab mindsker reduktionsbehovet i

⁴ Virkemiddelomkostninger er fx. kampagner samt forvridningsomkostninger ved afgifter, tilskud, mm.

andre sektorer. Det ekstra lager sænker altså de samlede omkostninger ved at nå netto-nul i 2040, men denne "sparede omkostning" kan ikke aflæses eksplicit i Tabel 4.



Figur 1-8: Samfundsøkonomiske meromkostninger i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning. Udgifter til omstilling af landbrug og skovrejsning samt virkemiddelomkostninger er ikke inkluderet.

2. Baggrund og metode

Rådet for Grøn Omstilling (RGO) har et mål om, at vi i Danmark og globalt igen kommer i pagt med de planetære grænser. Ambitionen er, at Danmark i 2040 har omstillet sin økonomi og sit forbrug, så ressourceforbruget ligger inden for de planetære grænser. I den forbindelse har RGO ønsket at foretage en scenarieanalyse, som viser vejen mod et bæredygtigt energisystem.

Formålet med analysen er:

4. At anskueliggøre en realistisk vej til nettonul-udledning af klimagasser senest i 2040,
5. at give en forståelse for de økonomiske og forsyningssikkerhedsmæssige forhold som en hurtig omstilling af energisystemet vil medføre, samt
6. at give et indblik i behovet for allerede nu at indtænke handlinger. (Udbygning af VE, elektrificering af transportsektoren, osv.)

Scenarieanalysen inkluderer forskellige udviklinger af det danske energisystem frem mod 2040. Hovedscenariet, *Transformationsscenariet*, lever op til en række bæredygtigheds-kriterier opsat af RGO, mens de andre scenarier fremskriver energisystemet ud fra frozen policy baseret på Klimafremskrivningen.

Udover energisystemet er udledninger fra kemiske processer og landbrug/arealanvendelse ligeledes inkluderet.

Et energisystem inden for de planetære grænser

RGO har opstillet en overordnet ramme for projektet, bl.a. ved tolkning af råderum bestemt af "de planetære grænser" når det gælder ressourceforbrug og biodiversitet, og ved ønske om ambitiøs udvikling af bl.a. landvind i Danmark:

- Nettonuludledning af klimagasser i Danmark 2040, alle sektorer.
- Loft for anvendelse af fast træbiomasse til energiformål på godt 10 PJ i 2040 (resttræ).
- Biogasproduktion begrænses til ægte restprodukter, herunder rester fra græs til proteinproduktion.
- Udfasning af alle fyr til rumvarme senest i 2035.
- Ambitiøs elektrificering i alle sektorer, herunder industri og landtransport.
 - Fuld elektrificering af landtransport i 2040
- Ambitiøs energieffektivisering.
- Ambitiøs udbygning af landvind i Danmark op til 20 GW i 2040
- Cirkulær økonomi og øget genbrug og materialegenanvendelse. Affald til forbrænding reduceres til 25% af forbrænding i 2020.
- Et CO₂-neutralt elsystem med høj forsyningssikkerhed. Forsyningssikkerhed nås bl.a. med spidsreserverlast på brint/PtX.
- Følger Montreal-protokollen med 30% til beskyttet natur.
- Landbrugssektor følger anbefalinger fra "*Fra Foder til Føde 2*", herunder at 680.000 hektar landbrugsareal tages ud af dyrkning.

3. Scenarieanalyse

Hovedformålet med scenarierne er at optegne fremtidsbilleder af et bæredygtigt energisystem frem mod 2040 samt at give et billede af de nødvendige handlinger og tiltag, som skal prioriteres yderligere ift. nuværende politiske planer.

Scenarierne

Der er opstillet tre scenarier, som alle evalueres i 2025, 2030, 2035 og 2040. Udgangspunktet for fremskrivningerne er 2022 (basisåret), dog anvendes 1990 også til at perspektivere målsætninger, så det er muligt at sammenligne med klimalovens 2025- og 2030-målsætninger.



Figur 3-1: Scenarieoversigt.

Da analysen er udarbejdet i løbet af foråret 2024, er referencescenariet fastlagt pba. Energistyrelsens Klimafremskrivning 2023 (KF23). *KF23+-scenariet* medtager udvalgte elementer, som har været kendte ændringer i frozen-policy siden udgivelsen af KF23 i maj 2023, fx opdaterede lavbundslandsarealer. Dertil medtager *KF23+-scenariet* også en andel af den internationale transport. Det er forklaret under gennemgangen af de enkelte sektorer, når *KF23+-scenariet* adskiller sig fra *KF23-scenariet*. Vækstdrivers som følge af økonomi og stigende indbyggertal mv. indgår i alle scenarierne.

Der er foretaget en afgrænsning af analysen, som dermed ikke omfatter:

- Scope-3-udledninger (også kaldet forbrugsudledninger) som følge af forbrug af varer og service uden for Danmarks grænser (på nær udvalgte dele af udenrigstransporten)
- Ændrede erhvervsstrukturer, herunder
 - lukning af tung industri
 - lavere udbygning med datacentre
- Ændret infrastrukturplanlægning

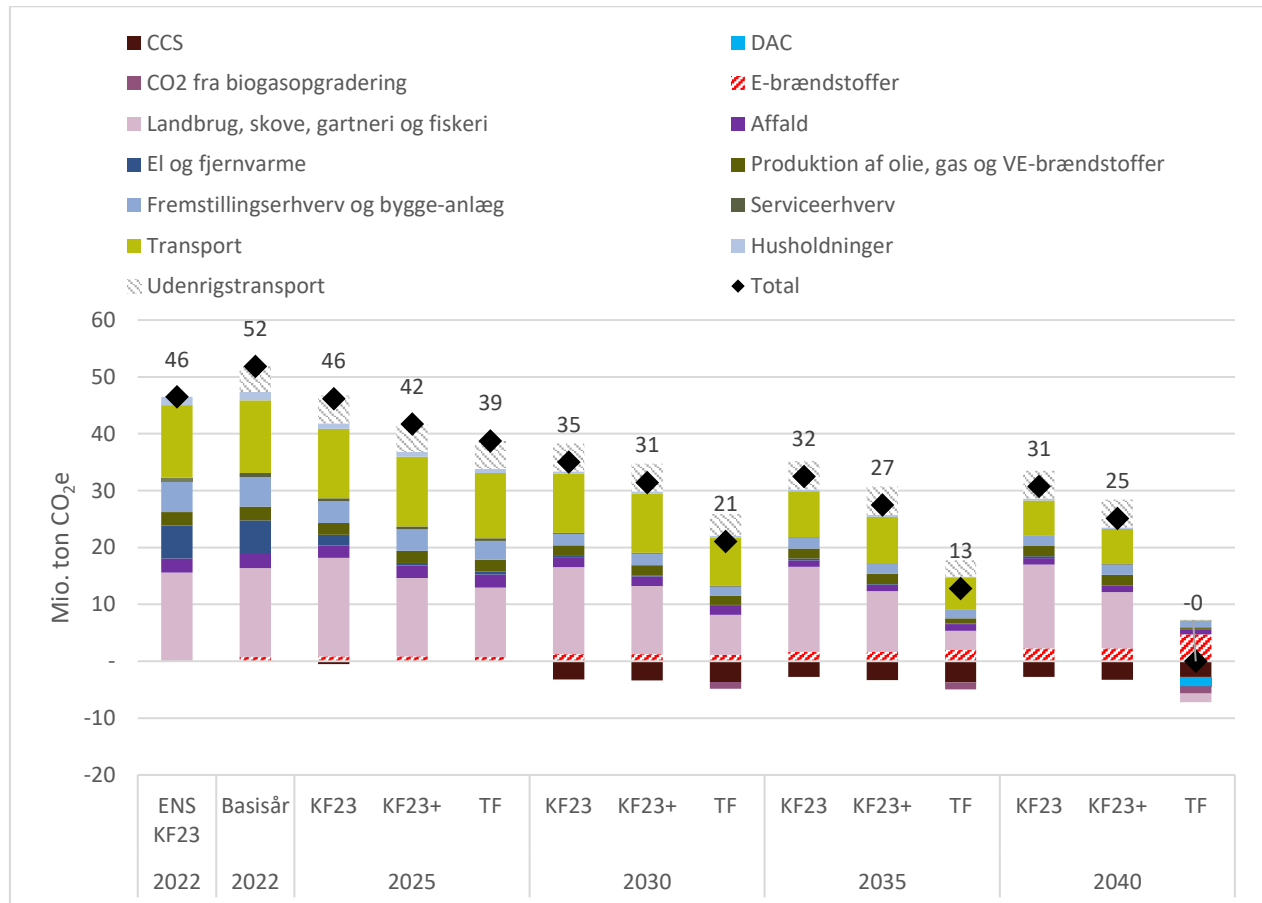
Udgangspunktet 2022

Scenarieanalysen anvender 2022 som startår og udgangspunkt for fremskrivningen. Udledningerne og energiforbruget for 2022 er opgjort med udgangspunkt i Energistyrelsens Klimafremskrivning 2023. Der er imidlertid foretaget mindre justeringer, bl.a. medregnes Danmarks andel af international transport, hvilket betyder, at basisåret er forbundet med en højere udledning end opgørelsen fra KF23.

Den samlede udledning er opgjort til 52 mio. ton CO₂. De største udledninger kommer fra energiforsyning, transport og landbrug og arealanvendelse. Danmarks samlede energiforbrug i 2022 er opgjort til 654 PJ.

Det samlede billede

Mod 2040 opfylder Transformationsscenarioet målsætningen om en netto-nul udledning i 2040. I de følgende gennemgås forudsætninger og resultater for de enkelte sektorer.



Figur 3-2: Samlet udvikling i drivhusgasudledning.

Tabel 5: Sektorgennemgang

Sektor	Bemærkning
Husholdninger	Inkl. sektorens andel af F-gasudledning
Transport	Inkl. udenrigstransport (i KF23+ og TF) og sektorens andel af F-gasudledning
Serviceerhverv	Inkl. datacentre og sektorens andel af F-gasudledning
Fremstillingserhverv og bygge-anlæg	Inkl. sektorens andel af F-gasudledning og procesrelaterede udledninger
Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer	Inkl. metanlækage fra biogasproduktion og eget-forbrug af brændsler til energiproduktion
El og fjernvarme	Ekskl. udledninger fra affaldsforbrænding
Affald og spildevand	Inkl. udledninger fra affaldsforbrænding
Landbrug, landbrugsarealer, skove, gartneri og fiskeri	Inkl. energiforbrug til maskiner mv. og kulstofpulje for skov

Generelle forudsætninger

Indbyggertallet i Danmark forventes pba. fremskrivninger fra Danmarks Statistik at stige fra i 2022 at være 5,87 mio. til i 2035 at være 6,14 mio.⁵. Dertil forventes en økonomisk vækst, hvor Finansministeriet frem mod 2035 estimerer en gennemsnitlig realvækst på ca. 1 pct. årligt. Indbyggere og økonomisk vækst driver efterspørgslen på energi- og transporttjenester, og ydelser fra landbruget.

Transportsektoren

Trafikvæksten i alle scenarier følger udviklingen i KF23. Det fremgår, at der forventes en forholdsvis kraftig vækst i trafikarbejdet med personbiler, bl.a. grundet udbygning af den danske vejinfrastruktur, mens f.eks. trafikarbejdet for lastbiler forventes at falde frem mod 2030. Det sidste skal ses i lyset af de kommende kilometerbaserede vejafgifter for lastbiler, som forventes at have en trafikdæmpende effekt.

Tabel 6 Procentvis udvikling for trafikarbejdet set ift. 2022. Baseret på KF23.

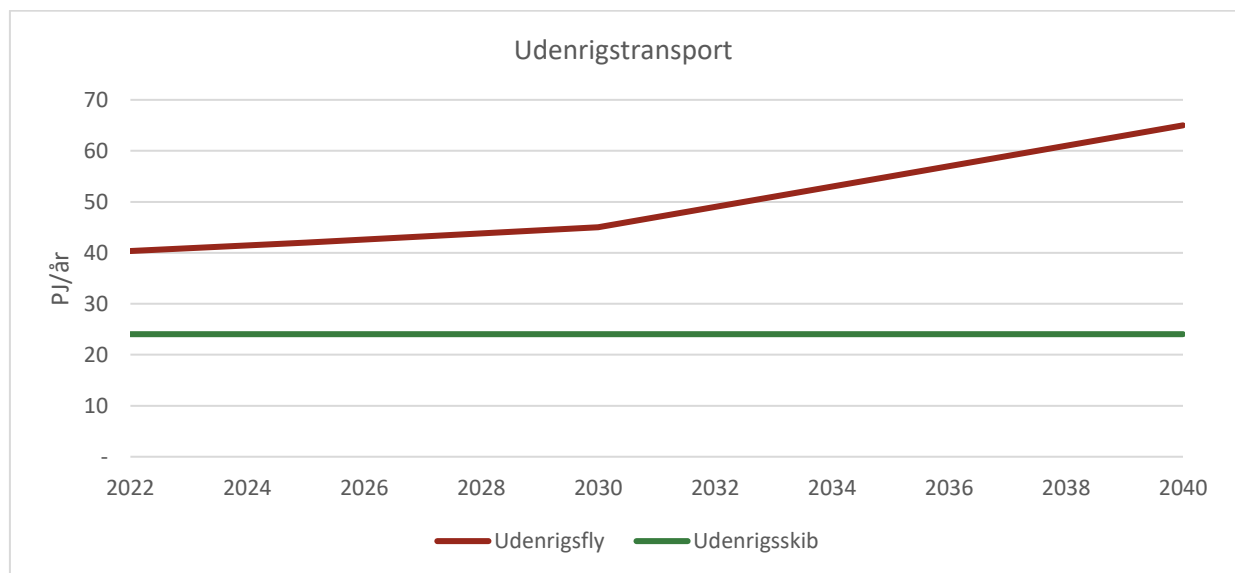
Vækst ift. 2022	2025	2030	2035	2040
Personbiler	6,0%	12,0%	18,0%	24,0%
Varebiler	2,9%	6,0%	9,7%	12,0%
Lastbiler	-8,0%	-2,0%	3,0%	5,0%
Busser	1,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Energiforbruget og den tilknyttede emission fra international transport fra både fly og skibe er ikke en del af Danmarks klimamålsætning og FN-opgørelser af nationale emissioner. For Danmark vil både energibehov og emissioner til international transport i fremtiden dog være en betydelig del af klimaudfordringen, samtidig med at omstillingen af især flytrafik er en af de dyreste elementer i den samlede omstilling. Beregningerne for Danmarks energiforbrug- og emission i denne rapport søger derfor at inkludere Danmarks andel af den internationale transport. Der er flere opgørelsesmetoder til dette, men der er her valgt

⁵ Danmarks statistik: FRDK124: Befolkningsfremskrivning 2024 for hele landet efter herkomst, køn og alder

den forholdsvis simple tilgang, at *bunkring*, dvs. tankning af både fly og skibe i Danmark inkluderes og antages at afspejle Danmarks andel af den internationale transport. Det svarer til tilgangen i Energistyrelsens "Danmarks globale klimapåvirkning". Udviklingen af den internationale trafik mod 2040 er ikke en del af Klimafremskrivningen, men i forbindelse med *Klimaprogram 2022* udgav Energistyrelsen forudsætnin-
ger for væksten, som også indirekte er grundlag for antagelserne i *Analyseforudsætninger for Energinet 2023*.⁶ Væksten i brændstofforbrug til international flytransport estimeres her til ca. 60% mellem 2020 og 2040, mens energiforbrug for international skibsfart forbliver konstant.

Energistyrelsen henviser til transportfremskrivninger fra The International Civil Aviation Organization (ICAO), som angiver vækstrater på omkring 1,2% pr år frem mod 2030 og på knap 4% pr. år mellem 2030 og 2050 baseret på en fremskrivning af historiske trends. Denne fremskrivning anvendes også her for udviklingen i energiefterspørgslen til international transport i de opstillede scenarier. Udgangspunktet for energiforbruget i 2022 estimeres på baggrund af Energistyrelsens afrapportering "Danmarks globale klimapåvirkning"⁷. Omstilling til elbaserede fly vil i et lille omfang reducere stigningen i energiforbruget i Transformationsscenarioet på grund af større effektivitet.

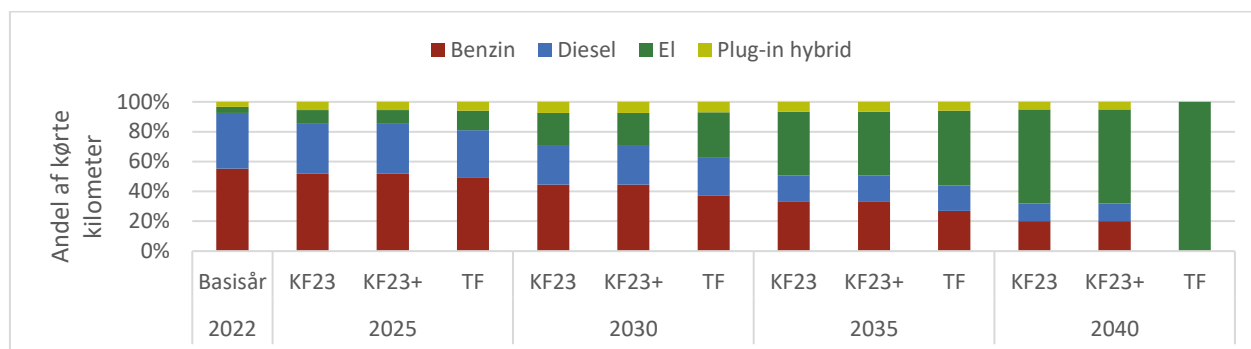


Figur 3-3: Udvikling af energiforbrug til udenrigstransport (før delvis elektrificering) på tværs af scenarier.

Transformationsscenarioet er opbygget således, at al vejtransport er 100% elektrificeret i 2040. Det betyder en væsentlig større elektrificering end i KF, som ligeledes medfører et lavere energiforbrug i sektoren. For lastbiler er implementeringssporer fra notatet "Fremskrivning af antallet af elektriske lastbiler i Danmark" fra 2023 af Rådet for Grøn Omstilling blevet anvendt.

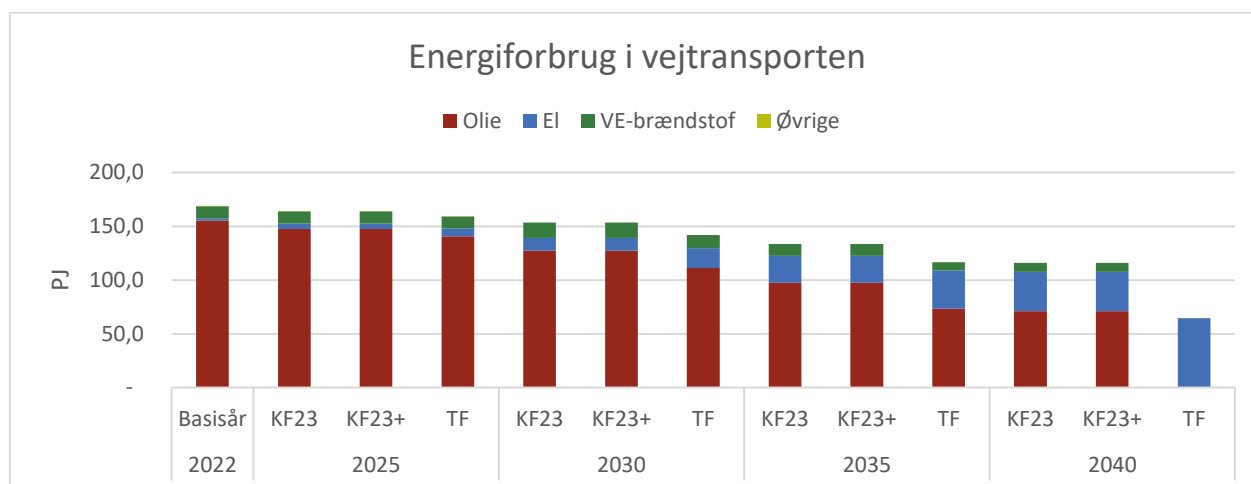
⁶ *Analyseforudsætninger til Energinet 2023 – PtX og DAC Baggrundsnotat, Energistyrelsen 2023 og Forudsætninger for KP22-scenarier – Transportefterspørgsel, Energistyrelsen 2022.*

⁷ *Forudsætninger for KP22-scenarier – Transportefterspørgsel, Energistyrelsen 2022 viser et højere energiforbrug til international søtransport i 2020 på ca. 50 PJ, mod de her estimerede ca. 25 PJ.*



Figur 3-4: Fordeling af trafikarbejdet (antal kørte kilometer) for personbiler fordelt på drivmiddelteknologi.

Iblanding af biobrændstof antages at fastholdes på tværs af scenarierne og er bygget på forventningerne fremskrevet af KF23.



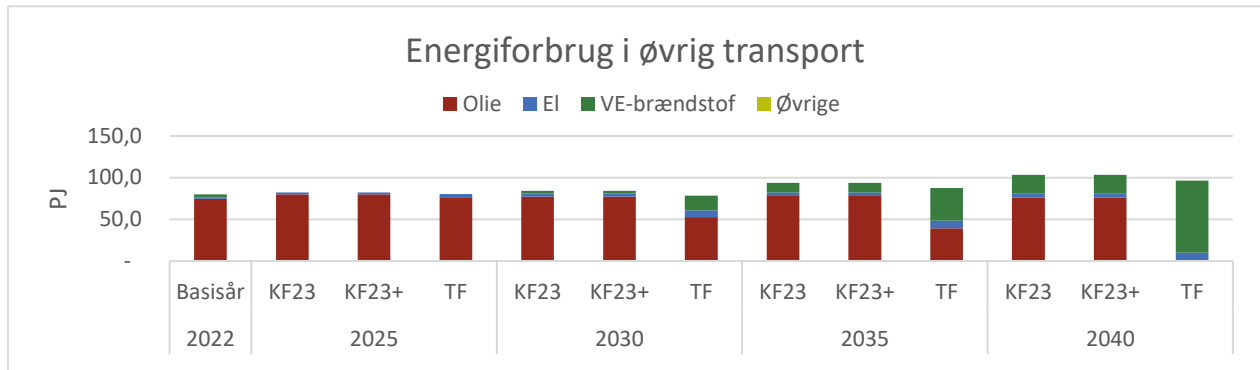
Figur 3-5: Udvikling i energiforbrug til vejgående transport.

Basisåret og KF23-scenariet er baseret på KF23 og inkluderer derfor ikke udenrigstransport, men kun indenrigsfly, togtransport og indenrigssøfart. KF23+ følger KF23-scenariet for indenrigsfly, togtransport og indenrigssøfart.

I KF23+-scenariet og Transformationsscenarioet medtages den andel af energiforbruget til international skibs- og flytransport, som optankes i Danmark. Baseret på Energistyrelsens Global Afrapportering 2023 (GA23) var energiforbruget til optankning i Danmark 40,3 PJ til indenrigsfly og 24 PJ til udenrigsskibe. Energiforbruget til udenrigsskibe antages uændret frem mod 2040, mens energiforbruget til indenrigsfly forudsættes at stige til 45 PJ i 2030, 55 PJ i 2035 og 64 PJ i 2040.

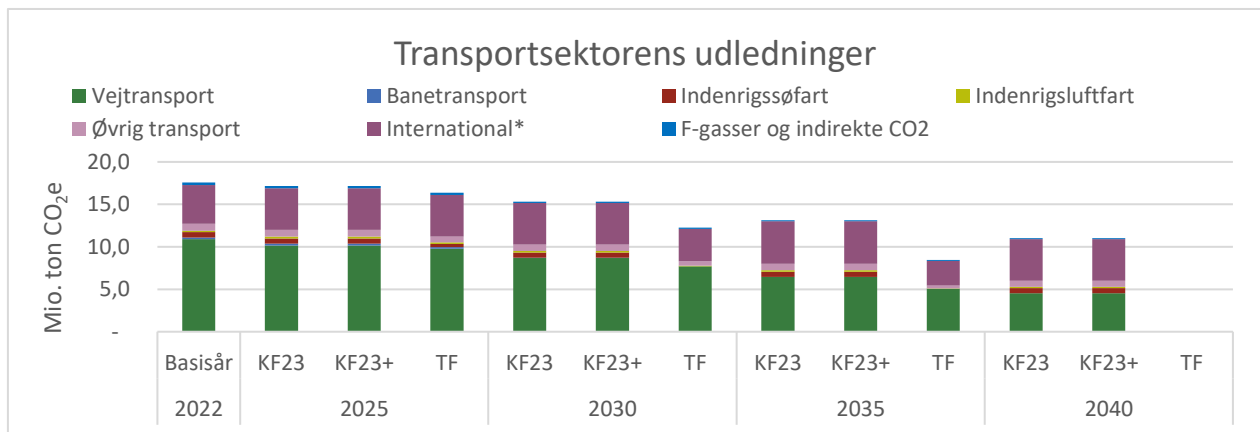
I KF23+-scenariet er det antaget, at efterspørgslen på energi til den internationale transport hovedsageligt dækkes af oliebaseerede produkter. Til flytransport opfyldes dog SAF-kravene om i alt 34% VE-brændstof i 2040, 10% dækkes af syntetiske brændstoffer. Det er forudsat, at en del af kravet opfyldes vha. Elektrificering, som er sat til at omfatte 2% af udenrigsfly i 2040. For skibstransport er der i KF23+ ikke antaget yderligere krav om VE-brændstoffer. I Transformationsscenarioet forudsættes, at hhv. 25%, 50% og 100% af efterspørgslen til al udenrigstransport kan dækkes af VE-brændstoffer i 2030, 2035 og 2040. Derudover antages der i Transformationsscenarioet en fuldelektrificering af jernbanenet, færgedriften og indenrigs

flytransport fra 2030.



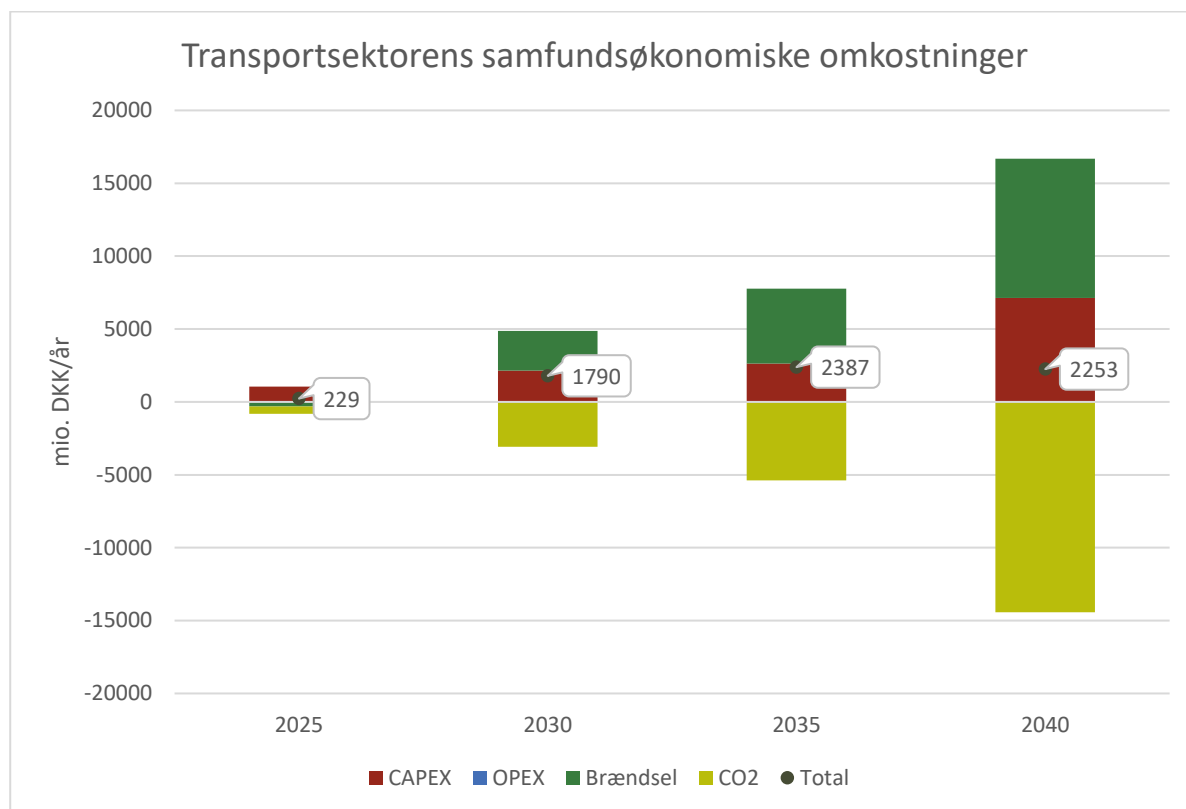
Figur 3-6: Udvikling i energiforbrug til øvrig transport (jernbaner, fly, søfart).

Samlet giver det følgende udvikling i udledninger fordelt på transportmidler: Det ses, at forskellen mellem KF23+ og Transformationsscenarioet er ca. 13 mio. ton CO₂, hvilket særligt skyldes omstillingen fra fossile til fornybare brændstoffer for flytransport og elektrificeringen af vejtransporten.



Figur 3-7 udvikling i CO₂-udledninger til alt transport

De samfundsøkonomiske meromkostninger for Transformationsscenarioet, som er opgjort i forhold til KF23+-scenariet, summerer til ca. 2,3 mia. kr./år i 2040, som dækker den samlede transportsektor. Mens vejtransporten viser en samfundsøkonomisk fordel, er der væsentlige meromkostninger til udenrigstransport (fly og skibe), som i høj grad dækkes af VE-brændsler. For skibstransporten er der ikke antaget krav om VE-brændstoffer i referencen. FuelEU Maritime-initiativet kræver en dekarbonisering af skibsfarten på 31% i 2040, hvilket ville øge omkostninger til brændstof i referencen med ca. 800 mio. kr./år (med grøn ammoniak som prisreference for VE-brændstof), og dermed reducere ekstraomkostninger i TF-scenariet tilsvarende. Dette er ikke indregnet i de samfundsøkonomiske ekstraomkostninger ved TF-scenariet.



Figur 3-8 Samfundsøkonomiske meromkostninger af transportsektoren i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning.

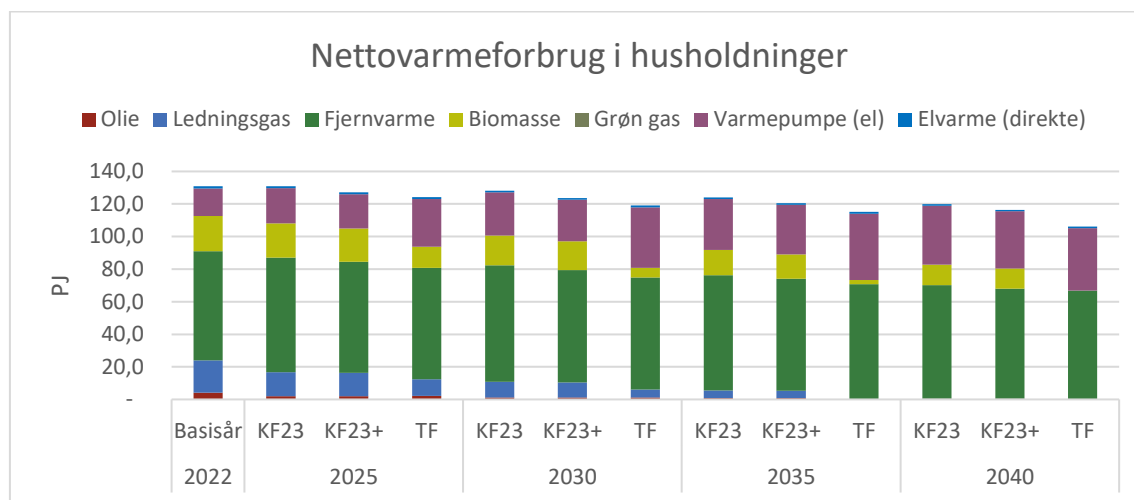
Husholdninger

Husholdningernes nettovarmebehov udvikler sig i takt med, at bygningsmassen bliver klimaoptimeret. Dette sker dels når den eksisterende bygningsmasse renoveres, og ved at ældre bygninger nedrives og erstattes af nye. Energiforbruget til opvarmning reduceres yderligere, hvilket især kan forklares med, at en voksende del af varmekonsumet dækkes af varmepumper, som har en væsentlig højere effektivitet sammenlignet med olie- og gasfyr.

I KF23+-scenariet er husholdningernes samlede varmegrundlag reduceret en smule sammenlignet med KF23. Reduktionen skyldes det observerede fald i energiforbruget til opvarmning i husholdninger i perioden 2020 til 2022. Dette antages at være et permanent fald.

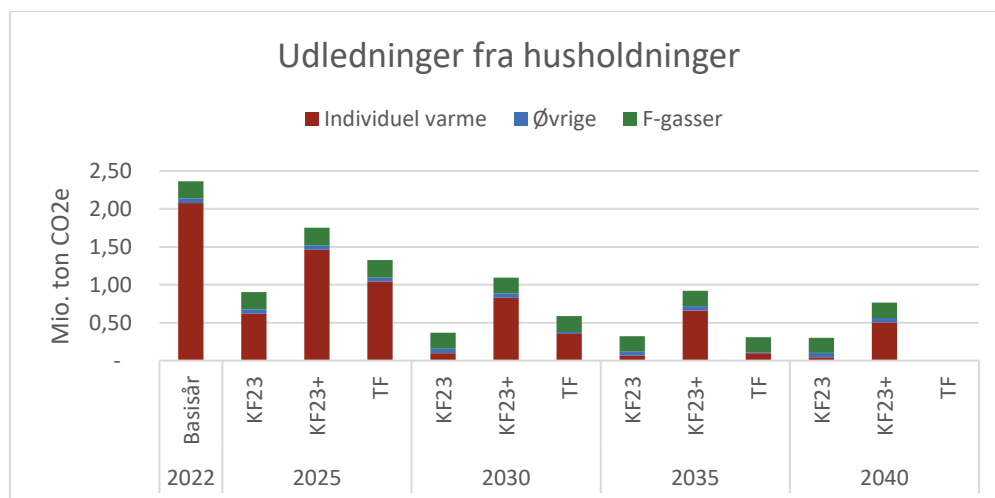
I Transformationsscenarioet er der lagt mere ambitiøse varmebesparelser ind i fremskrivningen, sammenlignet med KF23+. Frem mod 2040 forventes nettovarmebehovet således at falde med yderligere 20%.

I Transformationsscenarioet udfases alle individuelle fyr (både fast og flydende brændsel) i 2040, så husholdningerne kun har el- og fjernvarmebaseret opvarmning. Samtidig er udfasningshastigheden frem til 2040 væsentligt accelereret ift. KF23- og KF23+-scenariet. I 2030 antages således 75% reduktion af naturgasfyr, olie- og biomassefyr set ift. 2022 (mod 37% i KF23+). Fjernvarme- og varmepumpedækningen forøges i 2030 til hhv. 58% og 31% i Transformationsscenarioet.



Figur 3-9: Udvikling i varmeteknologi for husholdninger.

I takt med udfasningen af fossile fyr til opvarmning reduceres udledningerne betydeligt, og i Transformationsscenariet er husholdningerne udledningsfri i 2040. Det forudsættes, at der i 2040 kan findes klimaneutrale alternativer til F-gasser. F-gasforordningen forbyder varmepumper baseret på F-gasser med høj klimapåvirkning fra 2027. De fleste varmepumper med mere skadelige F-gasser vil være udskiftet i 2040, og derfor antages udledningerne herfra at være minimeret i 2040.



Figur 3-10: Udvikling i drivhusgasudledning for husholdninger. Under øvrige indgår energiforbrug til fx terrassevarmere og plæneklippere mv.

Nedenstående Figur 3-11 viser de samfundsøkonomiske meromkostninger for opvarmning i husholdninger ved Transformationsscenariet sammenlignet med KF23+-scenariet. Omkostningerne er mindre i Transformationsscenariet – det ses at totalen er negativ. Det skyldes, at der spares både på brændsels-, OPEX- og CO₂-omkostninger, når der omlægges fra biomassefyr til varmepumper.

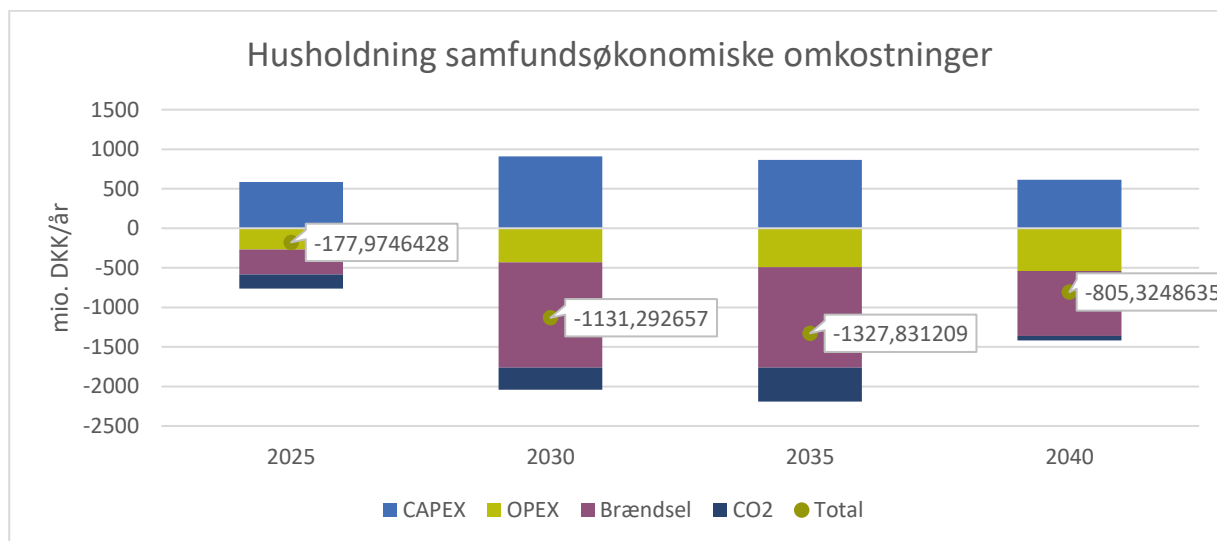
Både CAPEX og OPEX er beregnet ud fra data fra *Teknologikatalog for individuelle varmeanlæg* fra Energi styrelsen, hvor de er omregnet til per GJ i stedet for per enhed. Omregningen er under antagelsen af, at hver enhed dækker en gennemsnitlig husstands varmekonsum på 18 MWh/år.

Når CAPEX beregnes for årene efter 2025, antages det, at alle teknologier, der er anskaffet i 2025, fortsat er til stede i alle efterfølgende år. CAPEX for et givent år anvendes derfor kun, hvis der er en øgning i



mængden af energi produceret af en bestemt teknologi. I 2025 antages det, at al teknologi købes dette år. Det antages, at der er en renoveringsomkostning på 80 DKK per. GJ-effektivisering.

Samlet set viser husholdningerne en positiv samfundsøkonomi på ca. 900 mio. kr./år i 2040, som skyldes besparelser på især biomasse og, inden 2040, naturgas.

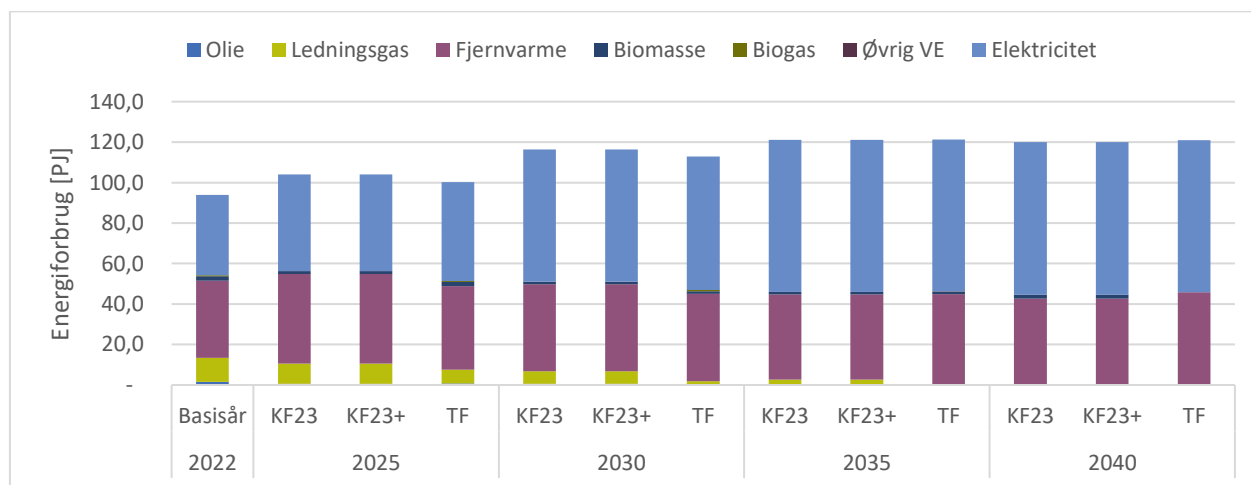


Figur 3-11 Samfundsøkonomiske meromkostninger for husholdninger i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning

Serviceerhverv

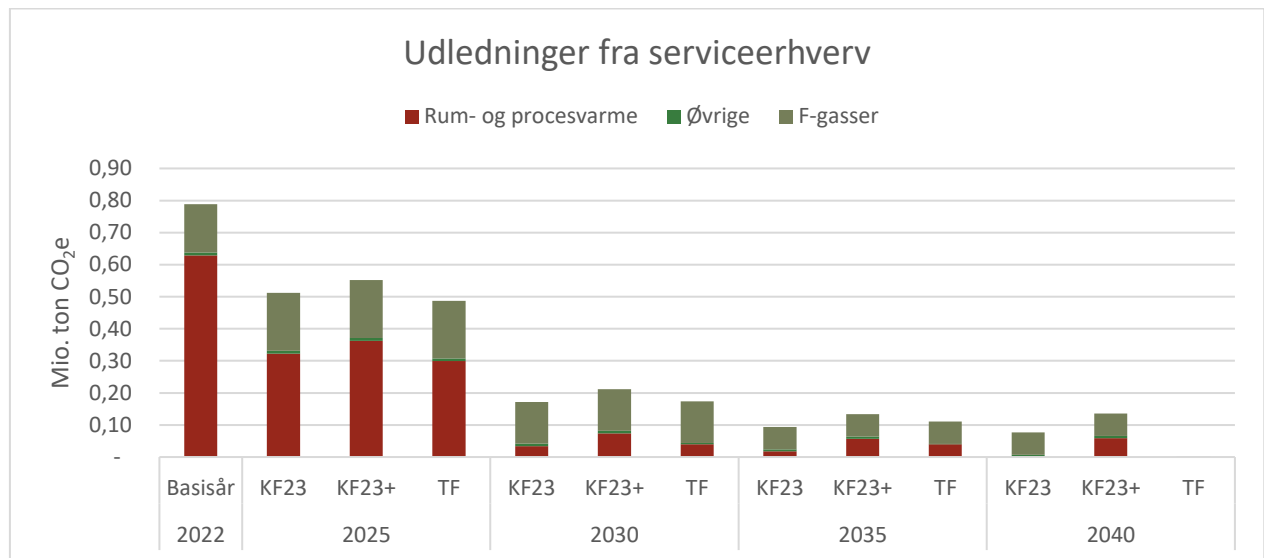
Serviceerhverv dækker over både offentlig og privat service, samt detail- og engroshandel. Hovedparten af udledningerne fra servicesektoren skyldes energiforbruget, som i høj grad dækkes af el og fjernvarme. Der er derudover en mindre mængde gas, som står for ca. 12% af det samlede energiforbrug, og biomasse.

Energiforbruget til serviceerhverv forventes at stige over perioden frem mod 2040, dette gælder for alle de opstillede scenarier. I Transformationsscenarioet er gas udfaset fra 2035.



Figur 3-12 Udvikling i energiforbruget fordelt på energikilder for serviceerhverv

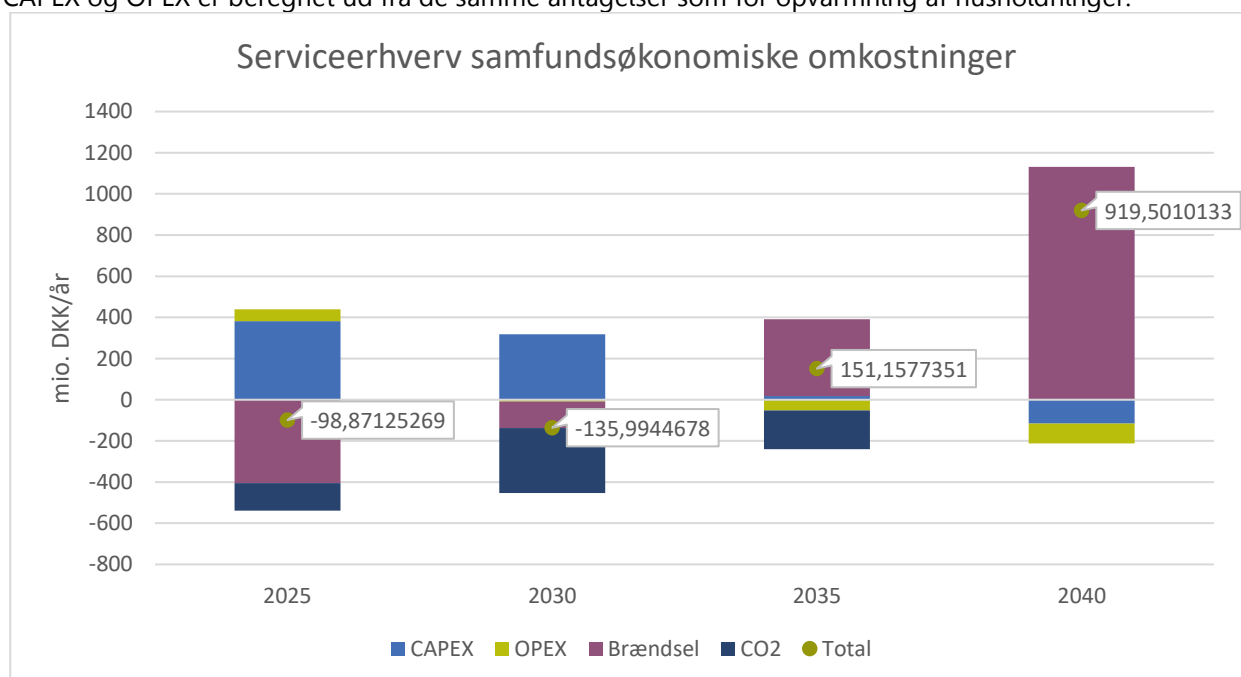
Ligesom for husholdninger, forventes der at anvendes klimaneutrale alternativer til F-gas. Med denne antagelse vil Transformationsscenariet allerede være klimaneutralt fra 2035, imens KF-scenarierne vil være klimaneutrale fra 2040.



Figur 3-13: Udvikling i drivhusgasudledning for serviceerhverv.

I de samfundsøkonomiske meromkostninger ved Transformationsscenariet sammenlignet med KF23+-scenariet for opvarmning i erhverv og offentligt ses det, at der kommer meromkostninger fra 2035. Det skyldes dels et valg om øget fjernvarmeudbygning i områder, hvor det med de anvendte beregningsforudsætninger ville være mere rentabelt med direkte varmepumpeløsninger. Konsekvensen af denne forudsætning er en meromkostning på ca. 920 mio. kr. i 2040.

CAPEX og OPEX er beregnet ud fra de samme antagelser som for opvarmning af husholdninger.



Figur 3-14 Samfundsøkonomiske meromkostninger af serviceerhverv i Transformationsscenariet ift. referencen. Positive tal angiver meromkostninger

Fremstillingserhverv og bygge-anlæg

Produktion af varer samt opførelse af bygninger og vejanlæg er ofte aktiviteter, der kræver betydelige mængder energi. I dag dækkes dette behov i høj grad af fossile brændsler. Derudover vil forarbejdningen af visse materialer være forbundet med procesudledninger, dette gælder bl.a. for cementproduktion, som er skyld i ca. 50% af Danmarks samlede procesudledninger.

I Klimafremskrivningen 2023 forventes det totale energiforbrug til fremstillingserhverv til proces- og rumvarme at falde fra ca. 65 i 2022 til 40 PJ i 2035. Dette skyldes et forventet fald i produktion af cement, og en generel lavere vækst i fremstillingsvirksomheder.

Derudover forventes der en omstilling væk fra olie, kul og gas, mod en større anvendelse af biomasse og elektrificering af lavtemperaturprocesser.

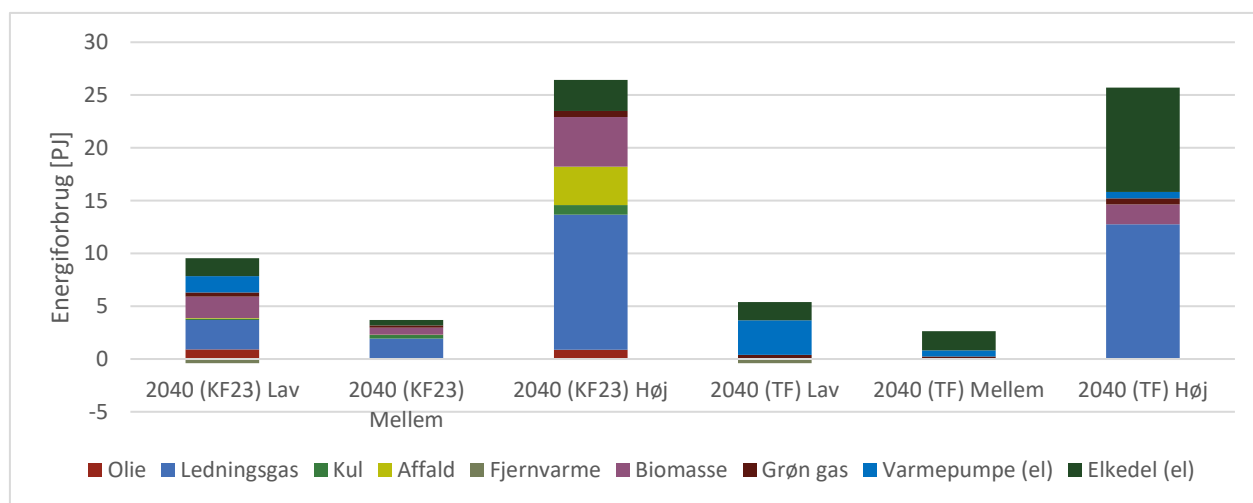
I Transformationsscenariet er det forudsat, at yderligere procesvarmeforbrug kan elektrificeres.

- 100% af lavtemperaturforbruget kan elektrificeres med varmepumper med en gennemsnitlig COP på 3,2 (80% for biomasse)
- 50% af middeltemperaturforbruget kan elektrificeres med varmepumper med en gennemsnitlig COP på 2,8.
- 20% af højtemperaturforbruget kan elektrificeres med en gennemsnitlig COP på 2,2.
- Yderligere forudsættes det, at dele af det resterende energiforbrug i 2035 kan elektrificeres enten ved direkte el eller ved elkedler

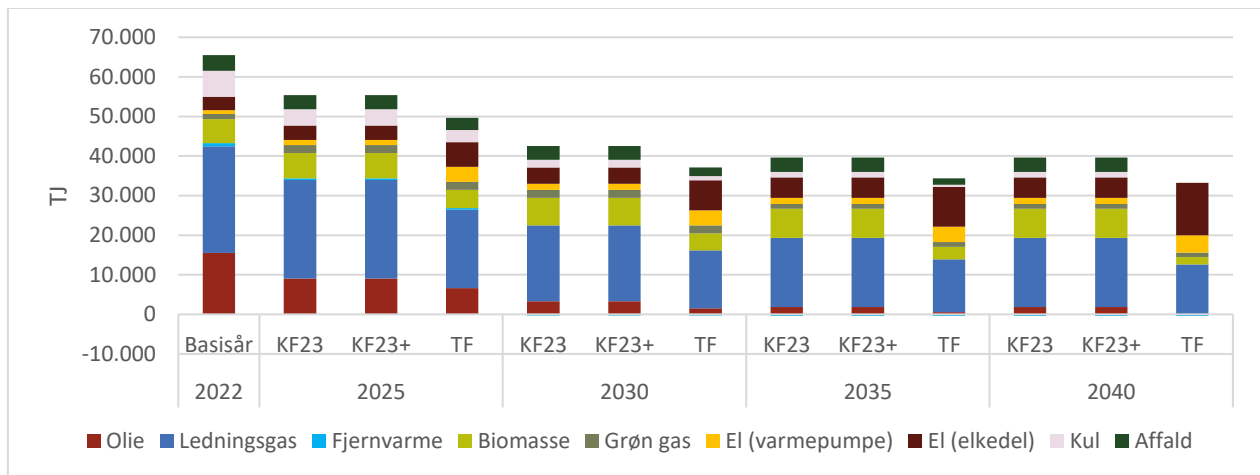
I alt elektrificeres hhv. 100% af lavtemperaturen, 90% af middeltemperaturen og 65% af højtemperaturen.

I Transformationsscenariet falder ledningsgasforbruget med 75% ift. 2022, biomasseforbruget falder med 73%, olieforbruget falder med 100% og kulforbruget falder med 100%.

Elforbruget stiger med hhv. 3,4 PJ til varmepumper og 10,8 PJ til direkte elforbrug og elkedler. Samlet falder energiforbruget til 30,5 PJ, 5 PJ lavere end energiforbruget i 2035 i KF23.

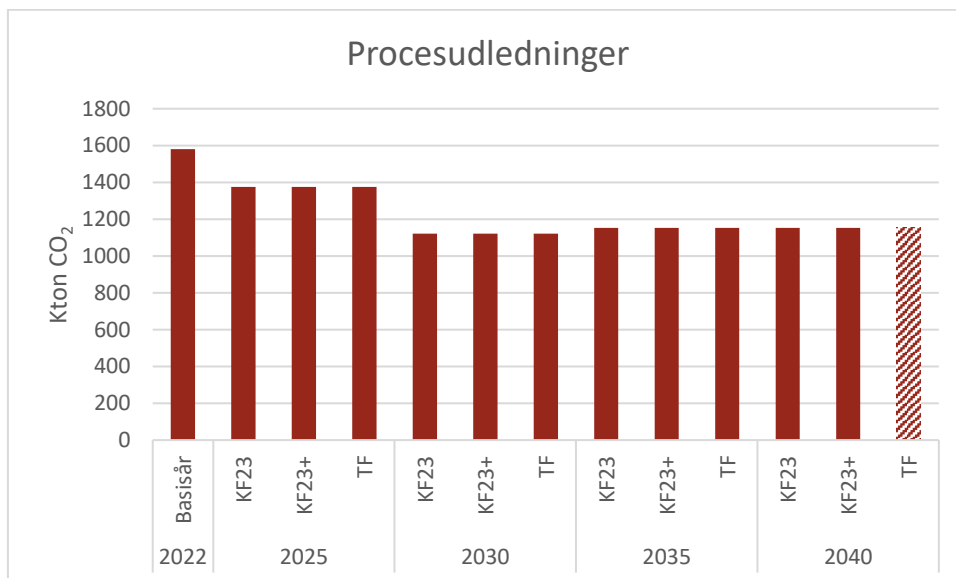


Figur 3-15: Fordeling af energiforbrug i fremstillingserhverv i 2040 fordelt på hhv. lav-, mellem-, og højtemperatur. Ekskl. omgivelsesvarme. 2040 for KF23 er baseret på 2035 i Klimafremskrivningen, da den kun går frem mod 2035. Energiforbruget til rumvarme indgår som lavtemperaturvarme.



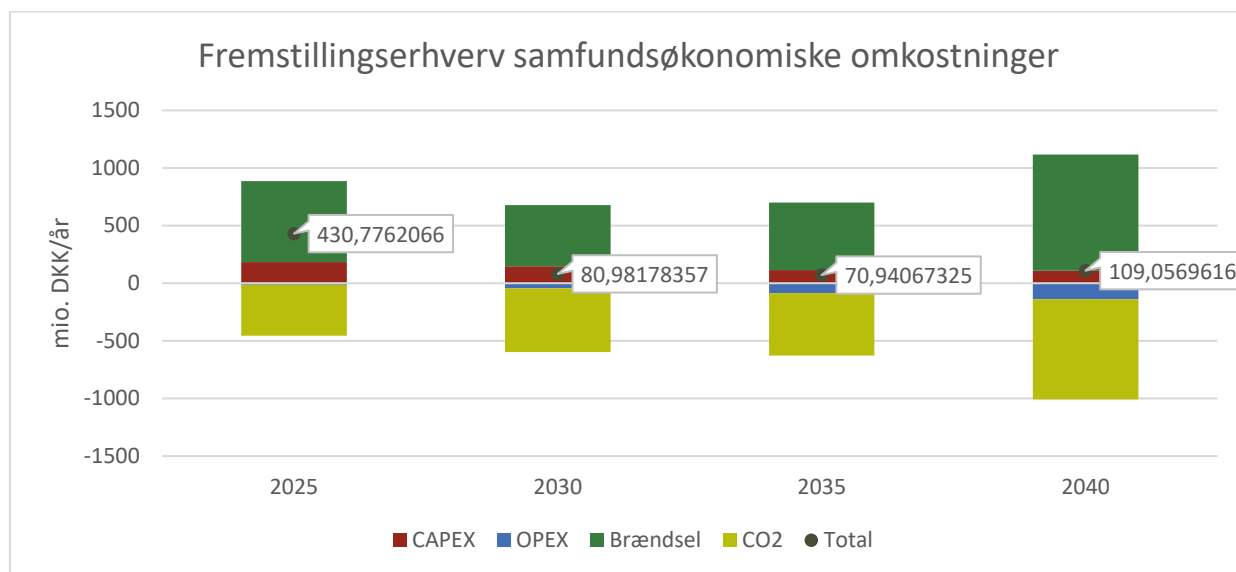
Figur 3-16: Energiforbrug i fremstillingsvirksomheder til lav-, middel- og højtemperatur-procesvarme.

I 2040 er energiforbruget i fremstillingserhvervene fossilfrit, men der vil imidlertid stadig være procesudledninger, som kun i begrænset omfang reduceres frem mod 2040. Det antages imidlertid, at disse i Transformationsscenarioet vil blive fanget af CCS.



Figur 3-17 Procesudledninger fra fremstillingserhverv

I de økonomiske beregninger for omkostninger til procesvarme, er der forudsat en driftstid på 5000 fuldlasttimer. Transformationsscenarioet viser sammenlignet med KF23+-scenariet en meromkostning på omkring 100 mio. kr./år i 2040. Det skyldes mest af alt, at det er dyrt at omlægge højtemperatur-procesvarme til elektriske teknologier, da der mest af alt dækkes vha. elkedler, som har høje omkostninger til el.



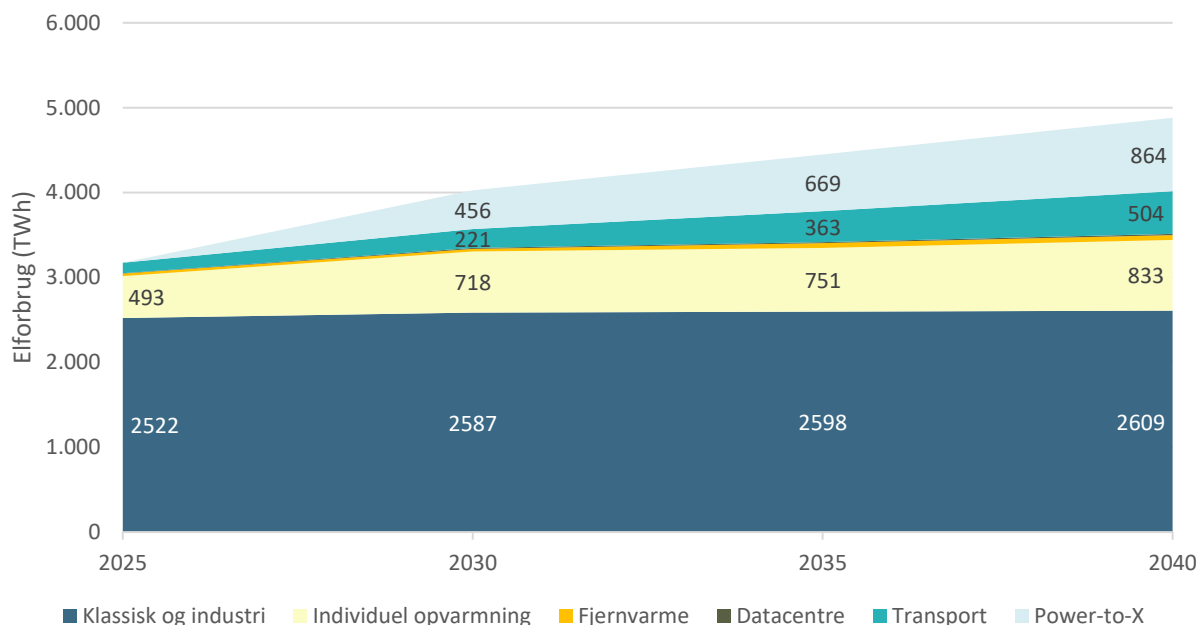
Figur 3-18 Samfundsøkonomiske meromkostninger af fremstillingserhverv i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning

El og fjernvarme

Forsyningen af el, varme og brint er gennemregnet for KF-scenariet og Transformationsscenarioet ved hjælp af energisystemmodellen Balmorel. Denne optimerer det samlede europæiske elsystem under hensyntagen til handel med el og brint på tværs af landegrænser.

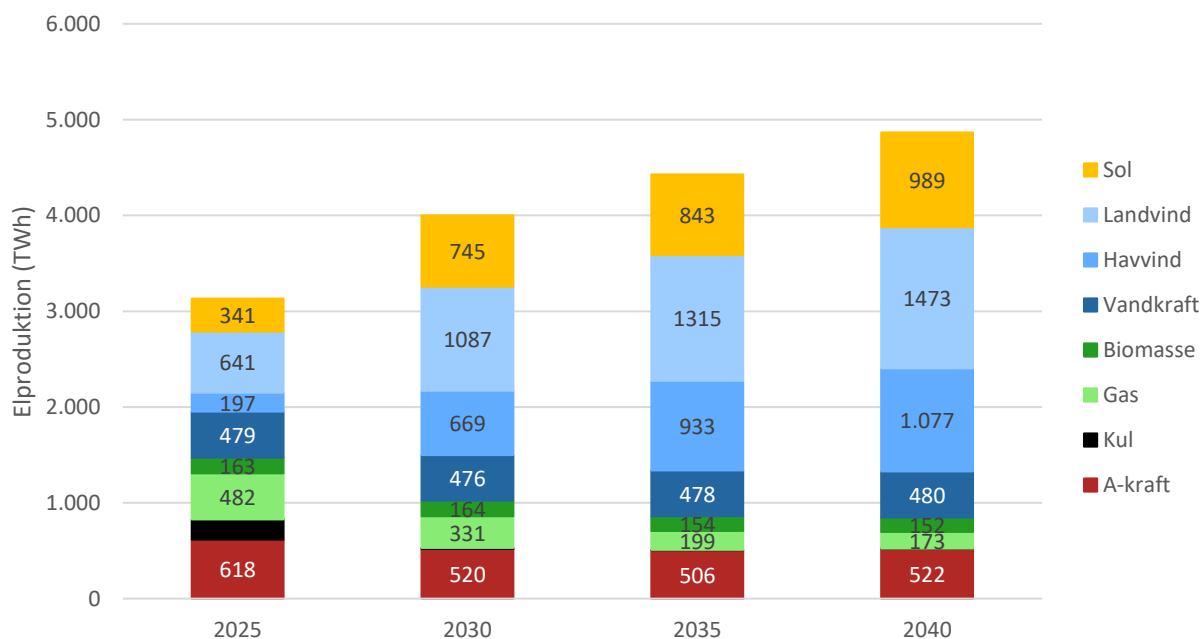
Det europæiske elsystem

Det danske el- og fjernvarmesystem er tæt knyttet til udviklingen af det europæiske elsystem. Der er derfor opstillet et scenarie for det europæiske elsystem, som danner baggrund for den nærmere analyse af de danske forhold. Overordnet forudsættes en omstilling af det europæiske elsystem for at opnå et scenarie med netto-nul emission i 2050. Dette forudsætter bl.a. en elektrificering af varme, transport og industri, samt et stigende forbrug af brint, som det fremgår af Figur 3-19 nedenfor. Udviklingen af elforbruget i Europa er baseret på ENTSO-E Global Ambition scenarie i TYNDP 2022, mens brintforbruget mod 2030 er baseret på Kommissionens REPower Europe mod 2030 og på Kommissionens mix-scenarie mod 2050. I lyset af den seneste tids udfordringer med omkostninger og hastighed for udbygning med VE og især konkretisering af brintforbrug og -produktion, er især udviklingen på kort sigt meget usikker. En række aktører forventer en langsommere udvikling af brintforbruget i Europa, hvilket vil påvirke den danske el- og fjernvarmesektor og føre til en langsommere udvikling af en lønsom udbygning med især havvind og sol i Danmark. De grundlæggende forudsætninger for det europæiske elsystem er ens i de to danske scenarier.



Figur 3-19: Udvikling af det europæiske elforbrug

Forbrugsudviklingen fører til et behov for at udbygge europæisk elproduktion, der drevet af CO₂-priser, og at teknologiudviklingen hurtigt omstilles til et system, der i 2040 udgøres af mere end 80% vedvarende energi, hvor vind og sol med mere end 70% af den samlede produktion udgør den vigtigste kilde til elproduktion.

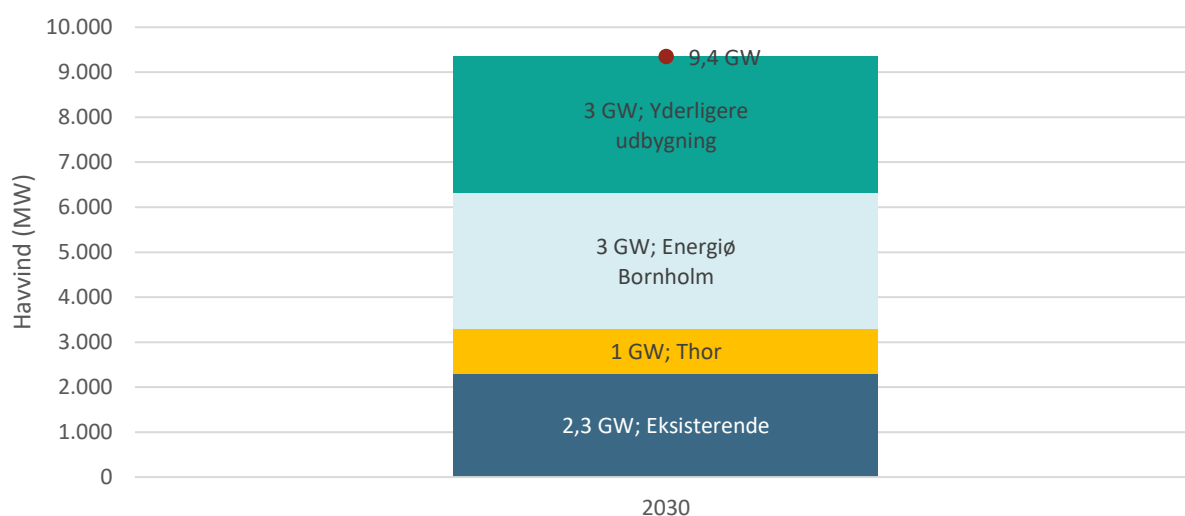


Figur 3-20: Sammensætningen af elproduktionen i det Europæiske elsystem

Det danske el- og fjernvarmesystem

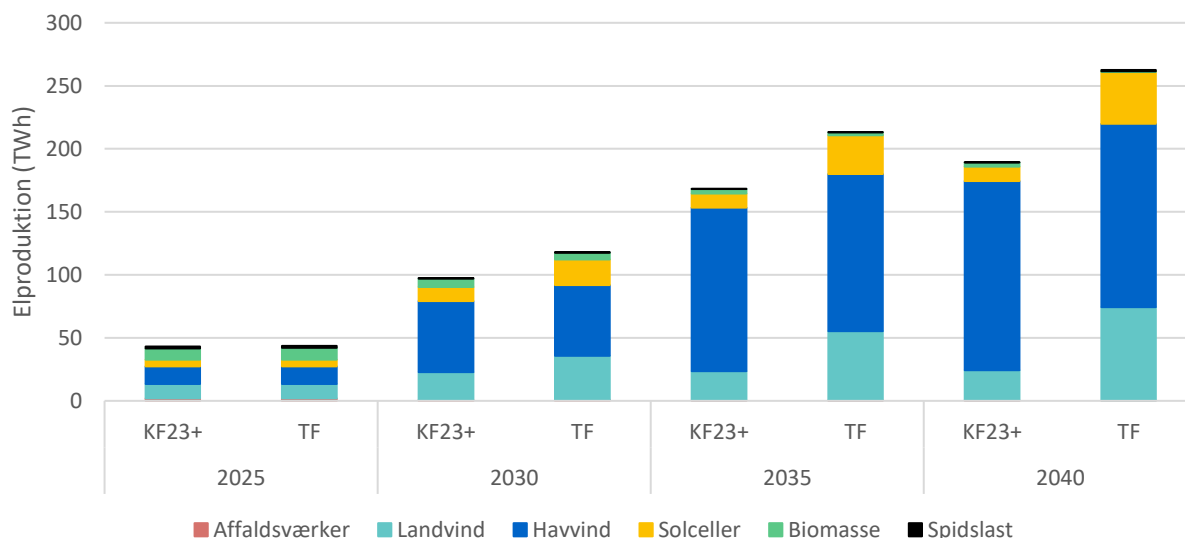
Det europæiske el- og fjernvarmesystem udgør en rammebetingelse for udviklingen i Danmark, hvor el, fjernvarme og brintforbrug varieres i de to opstillede scenarier. I KF-scenariet er forbrug til el, fjernvarme og brint baseret på KF23, men forsyningen heraf er baseret på modellens optimering, og sammensætningen af forsyningen vil derfor adskille sig fra KF23. I Transformationsscenarioet øges el-, fjernvarme- og brintforbruget, drevet af omstillingen i de enkelte sektorer.

På forsyningsiden forudsætter begge scenarier en minimumsudbygning med havvind, der i grove træk følger de gældende politiske aftaler mod 2030. Konkret forudsættes Thor og Energiø Bornholm fuldt implementeret i 2030, mens 3 GW af de igangværende udbud som minimum forudsættes realiseret. I 2030 forudsættes derudover en maksimal udbygning på yderligere 4 GW, afhængig af modeloptimeringen. Energiøen i Nordsøen indgår ikke som en fast forudsætning, men modellen har efter 2030 mulighed for at forbinde havvind til både Danmark og andre lande via et offshore-net.



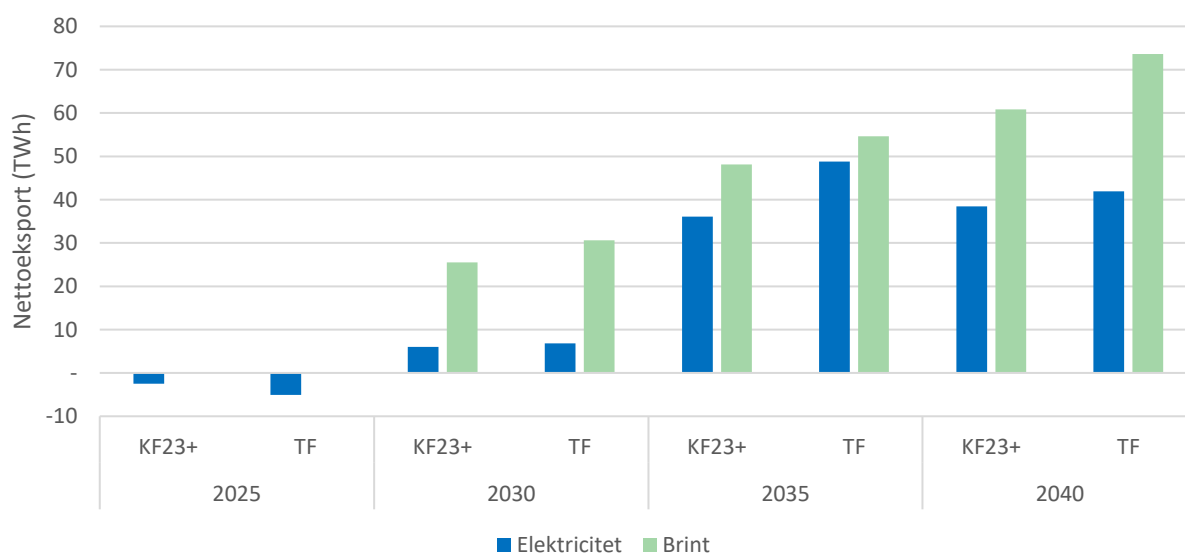
Figur 3-21: Forudsat minimumsudbygning med havvind i Danmark.

I Transformationsscenarioet er systemet i Danmark underlagt yderligere begrænsninger for at afspejle de opstillede bæredygtighedskrav. Det gælder reduktion af affaldsforbrænding, reduktion af biomasseanvendelse, udfasning af fossile brændstoffer og et nationalt selvforsyningsmål for el og brint. I scenariet er der indlagt en antagelse om markant udbygning af landvind (20 GW i 2040) og solceller (40 GW i 2040). Det skal bemærkes, at det er en beregningsforudsætning og de konkrete muligheder for udbygningen er ikke vurderet. Det er implementeret som et fastlåst kapacitetsmål i Transformationsscenarioet, mens modellen i KF23+ frit kan optimere kapaciteten op til et indlagt makspotentiale (45 GW solceller og 6,5 GW landvind i 2040).

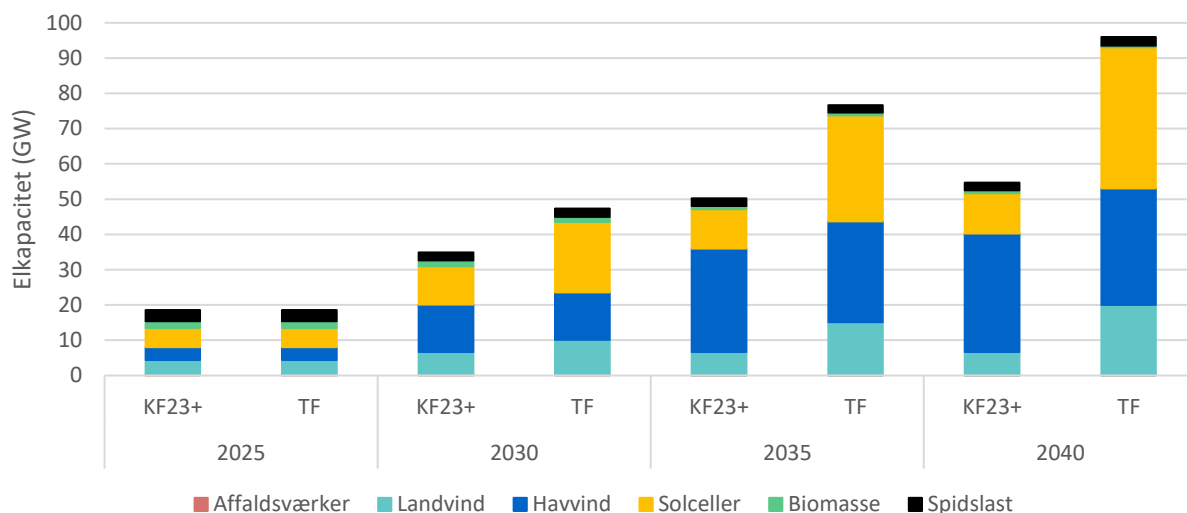


Figur 3-22: Elproduktion i Danmark i de opstillede scenarier.

Elproduktionen i Danmark stiger markant frem mod 2040, hvilket især skyldes et stigende elforbrug til brintproduktion og elektrificering af fjernvarme- og transportsektorerne. Danmark er fra 2030 nettoeksportør af både el og grøn brint både i KF23+ og Transformationsscenarioet. Elproduktionen i Transformationsscenarioet er markant højere pga. øget forbrug samt pga. den indlagte udbygning af landvind og solceller. Det resulterer i, at nettoeksporten i 2040 øges med godt 3 TWh el og knapt 15 TWh brint i Transformationsscenarioet, samtidig med at det højere indenlandske forbrug dækkes.

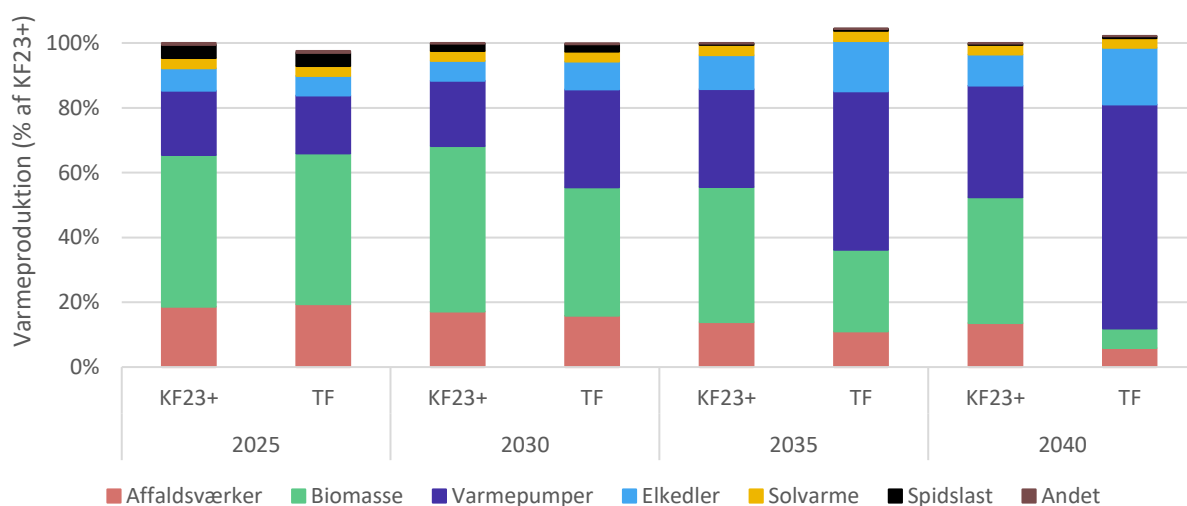


Figur 3-23: Dansk nettoeksport af el og brint i de opstillede scenarier



Figur 3-24: Udvikling af elproduktionskapaciteten i Danmark i de opstillede scenarier.

Varmeproduktionen bliver i stigende grad elektrificeret frem mod 2040. I KF23+ bygges der 2700 MW varmpumper og 2900 MW elkedler, og elbaseret varme udgør 45% af varmen i 2040. For at reducere brugen af biomasse, sker der særligt i Transformationsscenarioet en markant udbygning af yderligere 2500 MW varmpumper⁸ og 1000 MW elkedler sammenlignet med KF23+. Elbaseret varme står dermed for 85% af varmen i Transformationsscenarioet. En biomassekapacitet på 450 MW-el og 2300 MW-varme beholdes fortsat i Transformationsscenarioet, men den bruges kun sparsomt (gennemsnitligt knapt 1000 indfyrede fuldlasttimer) som konsekvens af biomassereduktionsmålet. Dog har biomasseværkerne med CCS højere drift (7200 timer i 2035 og 3700 timer i 2040) pga. det økonomiske incitament ved negative emissioner. Der er forudsat de samme mængder overskudsvarme i begge scenarier (vist under *andet* på grafen).

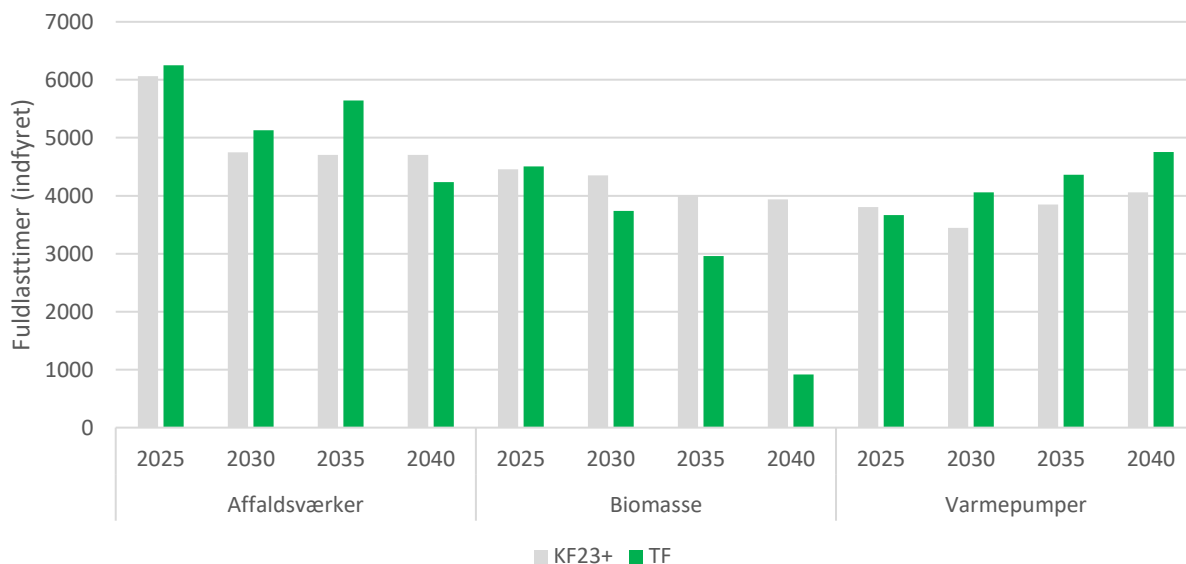


Figur 3-25: Varmeproduktion fordelt på energikilder (% af KF23+)

⁸ Inklusive varmpumper i forbindelse med geotermi.

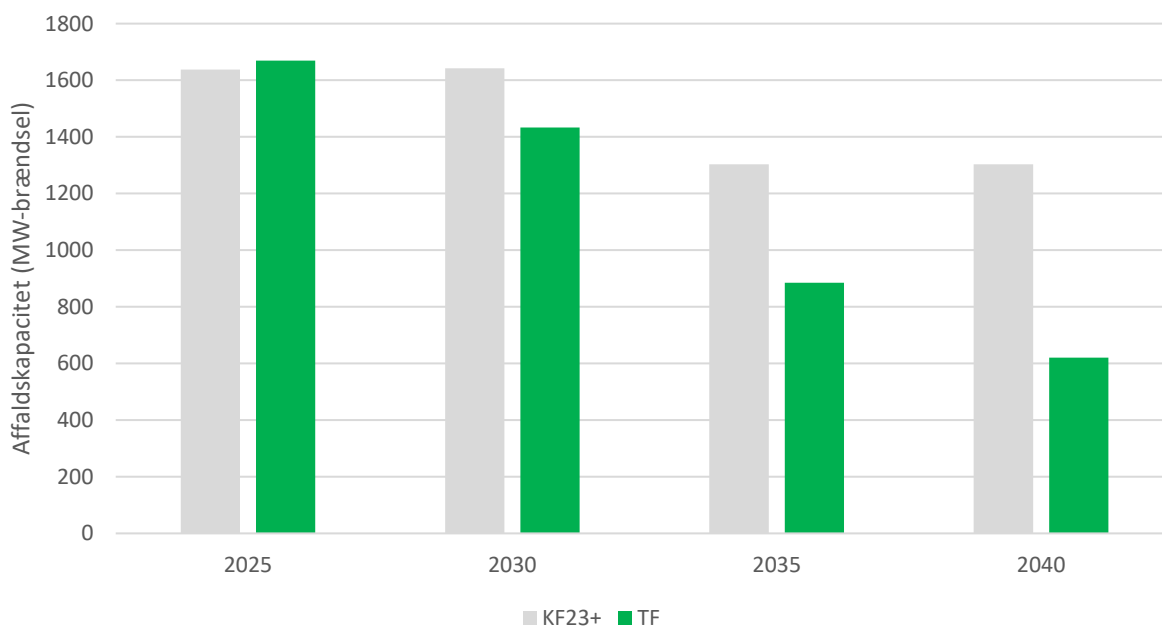


Den samlede varmeproduktionsmængde i Transformationsscenariet i 2040 er sammenlignelig med KF23+, men forløbet derhen er lidt anderledes pga. varmebesparelser i de tidligere år og øget udbygning af fjernvarmeområder i de senere år.



Figur 3-26: Gennemsnitlige fuldlasttimer for termiske værker og varmepumper i Danmark

Som konsekvens af målet om højere udsortering og genanvendelse, reduceres den tilgængelige mængde af lokalt restaffald til forbrænding. Det medfører, at affaldskapaciteten i Transformationsscenariet falder fra 1600 MW-indfyret i 2025 til 600 MW-indfyret i 2040. Driften af anlæggene reduceres fra omkring 6000 fuldlasttimer til godt 4000 fuldlasttimer.



Figur 3-27: Indfyret kapacitet på affaldsværker i de opstillede scenarier

Høje elpriser præger starten af perioden og skyldes primært de energimæssige udfordringer som konsekvens af krigen i Ukraine. Priserne falder frem mod 2040 i takt med udbygningen af vind og sol, men der er stadig risiko for betydelige udsving som følge af forskellige vejrår. Generelt er niveauerne sammenlignelige i de to scenarier. Elpriserne er dog lidt lavere i Transformationsscenarioet, hvilket primært skyldes den indlagte antagelse om et markant højere landvindspotentiale og forceret soludbygning.

Tabel 7 Gennemsnitlige elpriser (baseload) i Danmark

Elpriser	2022		2025		2030		2035		2040	
	Basisår	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF	
Vestdanmark	1711	808	820	555	552	452	445	435	432	
Østdanmark	1642	686	723	551	551	457	454	440	438	

Den oplevede elpris for forbrugerne afspejler samtidigheden i elforbruget (til klassisk, varmepumper og elbiler) og spotprisen. Priserne er højere end den gennemsnitlige baseloadpris, fordi der ligger en større andel af forbruget i timer med højere priser. Forbrugerne oplever omtrent de samme elpriser i de to scenarier, men priserne er dog lidt højere i Transformationsscenarioet i 2040.

Tabel 8 Gennemsnitlig forbrugerelpris til klassisk forbrug, elbiler og varmepumper.

Elpriser	2030		2035		2040	
	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF
Gennemsnitlig forbrugerpris (klassisk elforbrug, elbiler, varmepumper)	588	589	489	486	482	485
Gennemsnitlig fjernvarmeelpris	274	302	246	262	264	287

Den øgede udbygning af landvind og sol vil isoleret set føre til en gevinst for Danmark i form af lavere elpriser til forbrugerne og større indtægt til landvindsejerne. For elforbrugerne modsvares effekten dog af en generelt højere elefterspørgsel i Danmark, der betyder, at de samlede forbrugerpriser er lidt højere i 2040, selvom de gennemsnitlige elpriser reduceres.

I 2040 er markedsværdien af en ny landvindmølle ca. 90 DKK/MWh højere end omkostningen. For en 2 MW vindmølle vil det svare til en årlig ekstraintægt på omkring 650.000 DKK/år.

Tabel 9 Gennemsnitlig omkostning (inkl. netforstærkninger) og markedsværdi for opstilling af ny sol og ny landvind mellem 2030 og 2040.

DKK24/MWh	2030		2035		2040	
	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF
Landvind						
- LCOE	240	240	228	229	218	218
- Markedsværdi	405	402	318	309	311	305
Sol						
- LCOE	289	289	-	265	-	241
- Markedsværdi	289	278	-	235	-	214

Den forcerede udbygning af sol medfører derimod en øget omkostning for Danmark, da værdien i elmarkedet ikke kan dække omkostninger til opstilling af solcellerne. For nye solceller overstiger omkostningen i 2040 markedsværdien med ca. 30 DKK/MWh, svarende til godt 30.000 DKK/MW/år.

Økonomi i el- og fjernvarmesektoren

De gennemsnitlige elpriser påvirkes marginalt i Transformationsscenarioet af den øgede udbygning med landvind og sol. Det har dog meget begrænset effekt på elforbrugspriserne. For fjernvarmebrugere stiger prisen på grund af de pålagte begrænsninger og dermed omkostninger ved produktion af fjernvarme (lavere forbrug af biomasse og affald). De enkelte forbrugssektorer oplever derfor kun i begrænset omfang ændringer, som skyldes ændringer i el- og fjernvarmepriser i Transformationsscenarioet.

Affald

CO₂-udledningerne fra affaldsforbrænding forventes at falde frem mod 2035, særligt fra 2025-2035. Dette skyldes virkemidler aftalt i *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* fra 2020, som forventes at føre til mere genanvendelse og en reduktion af affaldsproduktion.

I Transformationsscenarioet er mængden af affald til energiproduktion reduceret med 80% mellem 2022 og 2040. Al affald anvendes til kraftvarmeproduktion. Modellen er blevet begrænset til max at anvende omkring 9 PJ affald i 2040, hvilket udnyttes fuldt ud.

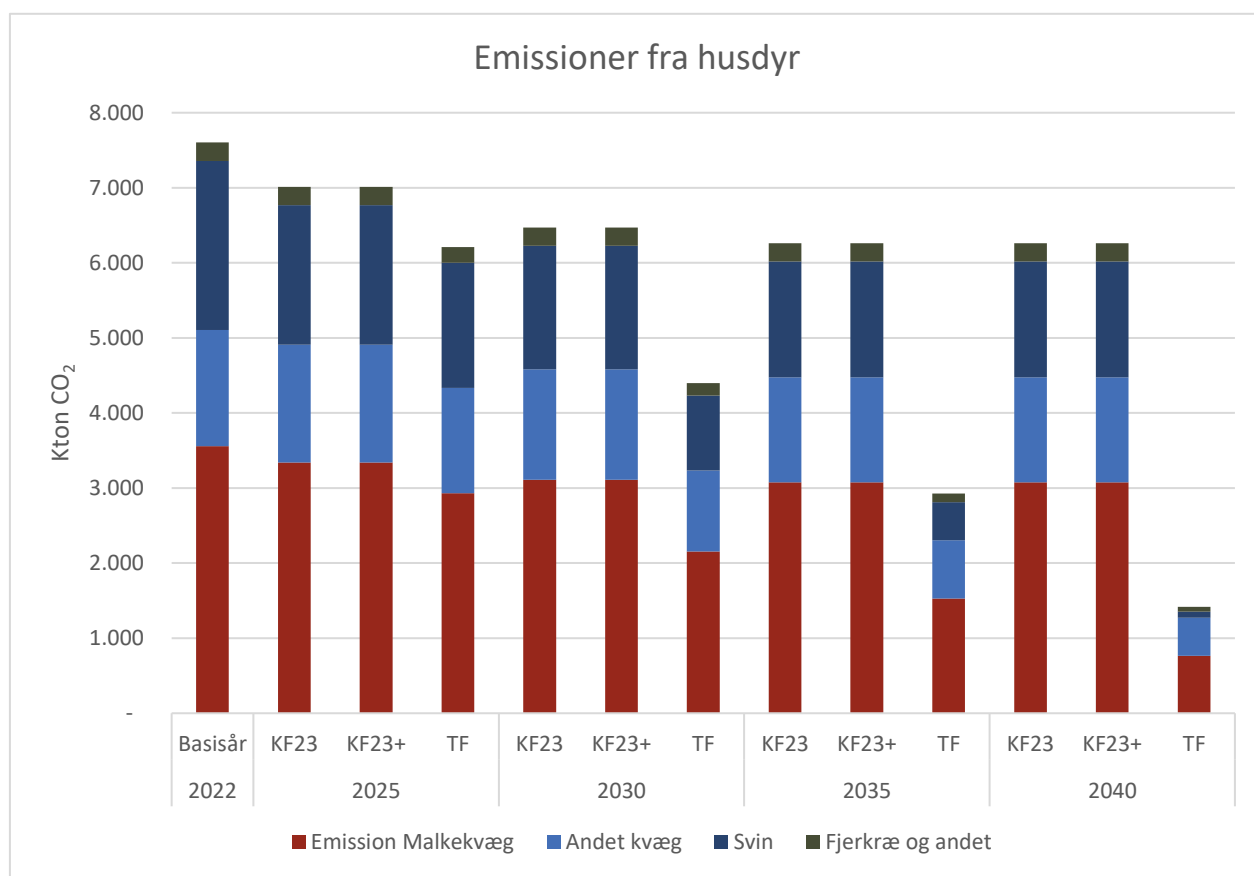
Tabel 10 Anvendelse af affald i el- og fjernvarmesektoren i Danmark.

Affaldsforbrænding	2022	2025		2030		2035		2040	
	Basisår	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF
PJ									
Samlede affald til energi	39	35	37	27	26	21	17	21	9
Fossil del	45%	43%	45%	37%	37%	24%	33%	24%	24%
Biofraktion	55%	57%	55%	63%	63%	76%	67%	76%	76%

Landbrug, skove, gartneri og fiskeri

34% af Danmarks samlede udledninger kommer i dag fra landbrug og arealanvendelse. Det er samtidig en af de sektorer, som i frozen policy fremskrivningerne af de nationale udledninger forventes at reducere sine udledninger mindst frem mod 2030 og 2040.

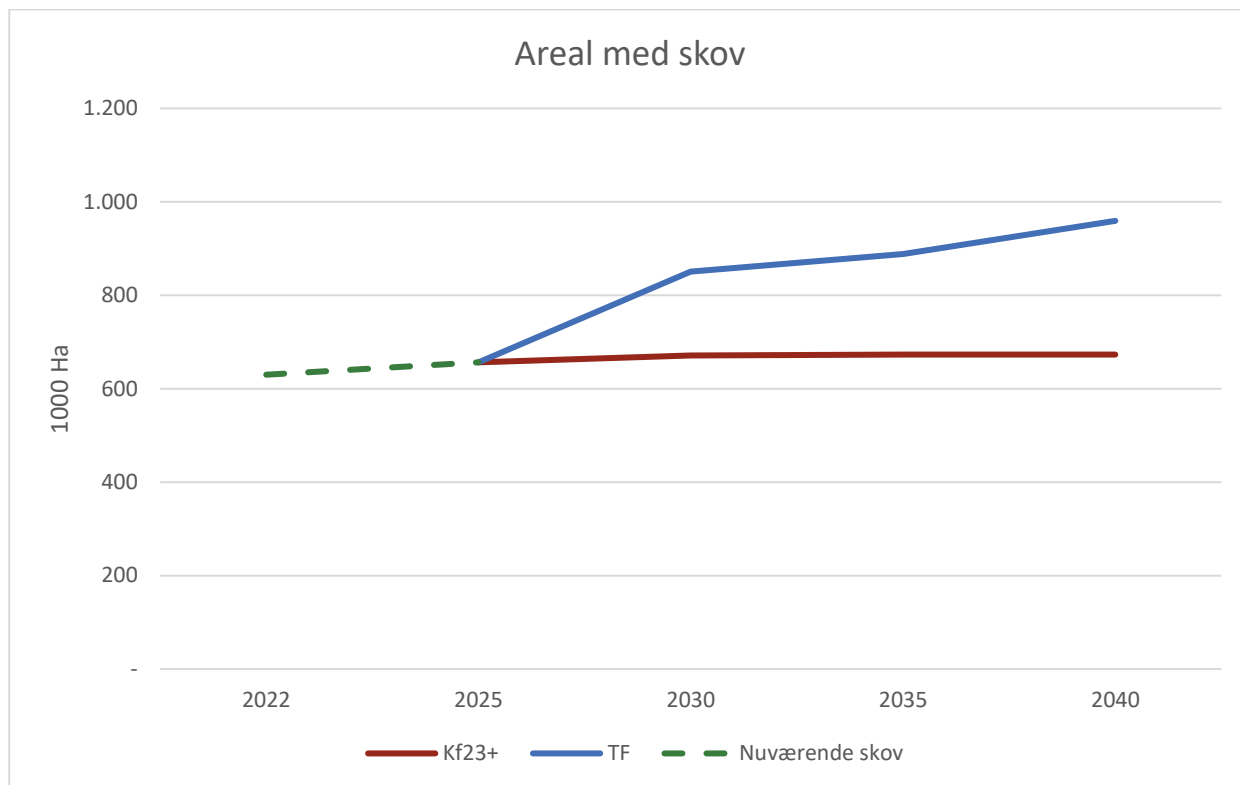
Rapporten *Fra foder til føde II* (FFTFII) fra 2023 har til formål at vise, hvordan et bæredygtigt landbrug kan etableres i Danmark inden for de planetære grænser. Rapporten og beregningerne bygger på en strukturel omstilling af landbruget baseret på nogle grundlæggende antagelser om arealanvendelse, husdyrproduktion, vegetabilsk produktion og kvælstofkredsløb. I Transformationsscenarioet implementeres samme udvikling som foreslået i FFTFII. Dette indebærer bl.a. en reduktion i dyrehold på 95% af svinehold og 70% reduktion i antallet af kvæg, og udtagning af alle lavbundsjorde.



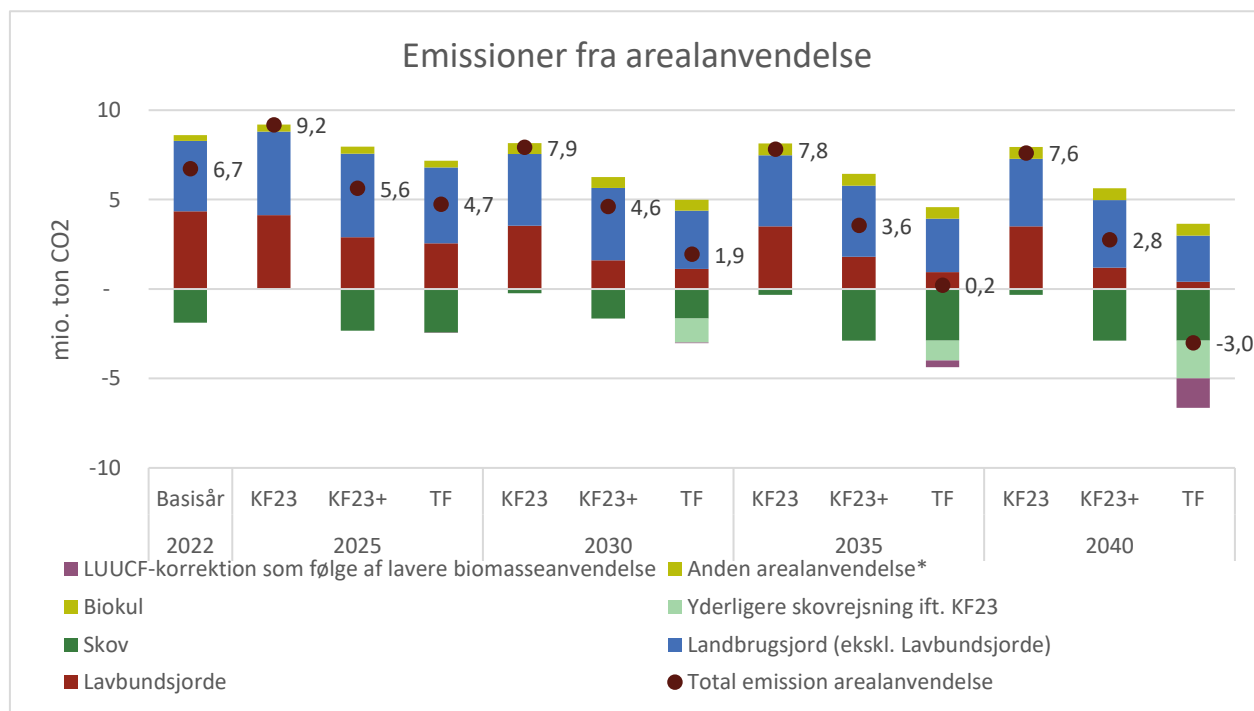
Figur 3-28 – emissioner fra husdyr

For at nå et nettonul i 2040 er der behov for 20.000 ha. yderligere skovrejsning end vist i *Fra foder til føde II* (FFTF II = 300.000 ha ny skov). I alt forudsættes i Transformationsscenarioet ca. 290.000 ha yderligere skovrejsning ift. KF23, som sikrer et forøget CO₂-optag på ca. 2,1 Mton ift. KF23+.

I den nyeste Klimafremskrivning fra 2024 (udgivet efter analysen), har arealanvendelse og landbrug en CO₂-udledning på 9,9 mio ton CO₂ i 2035. Med implementeringen af virkemidlerne i *Fra foder til føde II* er der derimod et nettooptag fra sektorerne, hvilket især skyldes en betydelig reduktion i udledningerne fra dyrkning og husdyrhold, kombineret med CO₂-optaget fra ny og eksisterende skov.



Figur 3-29 – Oversigt over skovareal i henholdsvis kf23+ og transformationsscenarioet



Figur 3-30 Oversigt over emissioner og optag fra landbrug og arealanvendelse. *Anden arealanvendelse er vådområder og bebygget areal.

CCS

Der har internationalt og i Danmark de seneste år været stigende interesse for Carbon Capture and Storage (CCS) som klimavirkemiddel. Siden 2020 er der indgået en række politiske aftaler om at fremme udviklingen af CCS og CO₂-lagring anses i dag som et nøgleelement i Danmarks strategi om at blive CO₂-neutral.

I KF23 fremskrives, at CCS i 2030 vil reducere CO₂-udledningerne med 3,2 mio. ton CO₂, hvilket i en frozen policy tilgang derefter vil falde til 2,7 mio. ton CO₂ i 2035.

I Transformationsscenariet bliver der i 2040 i alt indfanget 4,0 mio. ton CO₂ på kraftvarmeværker og Aalborg Portland samt ved opgradering af biogas. 1,5 mio. ton bliver indfanget på biomasse- og affaldskraftvarmemærker, mens det er forudsat, at der altså kommer CCS på Aalborg Portland, som indfanger CO₂ både fra de proces- og energirelaterede udledninger. Yderligere bliver der ifm. produktion af 42,3 PJ opgraderet biogas indfanget 1,3 mio. ton CO₂. For at dække det samlede kulstofbehov til produktion af flydende brændsler, samt sikre en netto-nul balance, indfanges også 1,65 mio. ton CO₂ direkte fra luften ved DAC.

Tabel 11 Samlet CO₂-fangst i scenarierne

CO ₂ -fangst		2030		2035		2040	
Mio. ton CO ₂		KF23	TF	KF23	TF	KF23	TF
Fossil	KV og affald	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2
	Proces		0,7		0,7		0,7
Biogen	KV og affald	2,7	2,1	2,9	2,2	2,9	1,3
	Proces		0,5		0,5		0,5
	Biogas-opgradering		1,5		1,3		1,3
	DAC						1,7
I alt	CO₂ fangst	3,4	5,2	3,3	5,0	3,3	5,7

Hvilke emissioner er der tilbage i 2040?

Affald og spildevand:

Der er i 2040 en drivhusgasudledning på 350 kton CO₂e fra spildevand og 300 kton CO₂e fra affaldsdeponi i referencen. I Transformationsscenariet implementeres der ikke initiativer til at reducere denne udledning, derfor fastholdes den fra Klimafremskrivningen.

Arealanvendelse og landbrug:

Landbrugsjord vil i 2040 have en væsentlig mindre klimabelastning sammenlignet med i dag. Dette er et resultat af, at et stort areal af det i dag dyrkede areal vil blive omlagt. I 2040 vil der i Transformationsscenarioet være en klimabelastning på ca. 3.000 kton CO₂e, til sammenligning vil der i KF23+ scenariet være en klimabelastning på ca. 5.000 kton CO₂e. Der er også udledning forbundet med arealanvendelse til vådområder og byområder, dette udgør i 2040 660 kton CO₂, og følger Klimafremskrivningens forventninger.

Husdyrproduktionen er i Transformationsscenariet reduceret markant, og vil i 2040 være forbundet med en udledning på 1.400 kton CO₂e. Til sammenligning er der i Klimafremskrivningen en forventning om ca. 6.300 kton CO₂e fra husdyrproduktion.

Fremstillingserhverv:

Udover de udledninger, som fremstillingsvirksomheder har fra deres energiforbrug, er der også procesudledninger forbundet med fremstillingen af en række produkter. I Danmark fylder procesudledninger fra cement- og teglproduktion særligt meget. I Transformationsscenariet er der holdt fast i de samme procesudledninger, som er fremskrevet i Klimafremskrivningen: Det betyder, at der fortsat vil være en udledning på 1.150 kton CO₂. Fremstillingsvirksomheder har en restemission fra energiforbrug på 76 kton CO₂ fra anvendelsen af biomasse og el til procesvarme.

Produktion af el og fjernvarme:

Nettoudledning fra forbrænding af biomasse og affald er ca. 370 kton CO₂e til fjernvarme og ca. 354 kton CO₂e til el. Det betyder, at energiforbrug som omstilles til el og fjernvarme stadig har en lille emission i 2040, herunder transport og rumvarme.

Produktion af olie, gas og VE-brændsler

Metantab fra biogasproduktion og opgradering er forbundet med en udledning på knap 240 kton CO₂ i 2040.

4. Appendix A: Brændsels- og CO₂-priser

For den langsigtede prisudvikling på olieprodukter, kul og naturgas samt CO₂, tages udgangspunkt i IEA's World Energy Outlook 2023. For priser på biomasse til energi anvendes Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet 2023.

Relevante prisfremskrivninger ses i **Error! Reference source not found.**

Tabel 12 Prisudviklingsprognose for brændsler (DKK24/GJ) og CO₂ (DKK24/ton).

	2025	2030	2035	2040
CO ₂	767	1085	1246	1407
Transport				
Benzin	148	150	145	141
Diesel	149	150	146	142
Brint	256	193	161	142
Rumvarme				
Gasolie	149	150	146	142
Naturgas	79	73	69	65
Biomasse	107	109	109	110
Fremstillingserhverv				
Fuelolie	91	92	87	83
Kul	30	22	20	19
Affald	59	60	60	61
Naturgas	79	73	69	65
Biomasse	71	71	72	73

VE-brændstoffer

Prisudviklingen på VE-brændstoffer er Ea Energianalyses egne beregninger, og afhænger af kilden til brændstoffet. Det antages som hovedregel, at international skibsfart mod 2040 primært anvender

kulstoffrie brændstoffer (ammoniak), imens brændstoffer til fly, landtransport og off-road transport (der ikke er elektrificeret) primært er kulstofbaseret.

Produktion af VE-brændstoffer prioriteres efter en omkostningsvurdering: 1: Biogas, 2: PtX baseret på CCS, 3: PtX baseret på DAC. Det skal understreges, at der er betydelig usikkerhed om prisudviklingen på VE-brændstoffer. Det antages, at CO₂ fra DAC har en produktionsomkostning på ca. 2000 kr./ton i 2040, imens CO₂ fra CCS koster godt 1000 kr./ton. Begge dele inklusive rensning, transport m.v.

DKK/GJ	2040 KF-scenariet	2040 Transformationsscenariet
Jetfuel og andet kulstofholdigt VE brændstof	373	422
Ammoniak	220	222
Brint	126	127

Tabel 13 Forudsætninger for omkostninger til VE-brændstoffer i 2040.

5. Appendix B: Andre beregningsforudsætninger

Appendix B præsenterer yderligere forudsætninger som ligger til grund for beregningen af de forskellige sektorer:

Transport – energiintensitet

Tabel 14 – tabellen er anvendt til at omregne energibehovet til transportsektoren ved elektrificering og et ændret kørselsbehov

Energiintensiteter fra KF23 fordelt på køretøjer og drivmidler [MJ/km]					
Kategori	tech	2022	2025	2030	2035
Busser	battery electric	7,5	7,43	7,33	7,15
Busser	diesel	12,57	12,39	11,9	11,23
Busser	fuel cell	12	9,36	6,75	6,25
Busser	gas	10,41	10,04	9,02	8,27
Personbiler	battery electric	0,64	0,63	0,62	0,6
Personbiler	diesel	2,57	2,58	2,59	2,62
Personbiler	gasoline	2,31	2,28	2,24	2,24
Personbiler	plug-in hybrid	2,07	2,07	2,05	2,03
Lastbiler	battery electric	5,34	5,04	5,75	5,92
Lastbiler	diesel	8,27	7,8	7,13	6,72
Lastbiler	fuel cell	9,64	9,83	9,89	9,87
Lastbiler	gas	9,43	9,15	8,55	8,15
Varebiler	battery electric	0,99	1,01	0,99	0,97
Varebiler	diesel	3,78	3,67	3,52	3,43
Varebiler	fuel cell	1,86	1,86	1,86	1,86
Varebiler	gas	3,14	3,12	3,09	3,1
Varebiler	gasoline	3,04	2,72	2,42	2,29
Varebiler	plug-in hybrid	1,48	1,45	1,41	1,4

Husholdninger – virkningsgrader

Tabel 15 – Tabellen er anvendt til at omregne energibehovet til varme ved en omstilling væk fra olie og gas

	2020	2025	2030	2035	2040
Olie	86%	86%	86%	86%	86%
Gas	95%	95%	95%	95%	95%
Biomasse og andet	70%	70%	70%	70%	70%
Sol	100%	100%	100%	100%	100%
VP og el	100%	100%	100%	100%	100%
Fjernvarme	95%	95%	95%	95%	95%

Fremstillingserhverv – elektrificering

Tabel 16 Udvalgt brændselsforbrug (PJ) til hhv. høj-, middel-, og lavtemperaturprocesvarme i 2035 i Klimafremskrivningen 2023.

Energiforbrug KF23 (2035) [PJ]	Høj temp.	Middel temp.	Lav temp.	Total
Gas	12,5	1,8	2,0	16,3
Biomasse	4,6	0,7	1,3	6,6
Olie	0,8	0,1	0,1	1,0
Kul	0,9	0,3	0,1	1,3

I Transformationsscenariet er det forudsat, at yderligere procesvarmeforbrug kan elektrificeres.

- 100% af lavtemperaturforbruget kan elektrificeres med varmepumper med en gennemsnitlig COP på 3,2 (80% for biomasse)
- 50% af middeltemperaturforbruget kan elektrificeres med varmepumper med en gennemsnitlig COP på 2,8.
- 20% af højtemperaturforbruget kan elektrificeres med en gennemsnitlig COP på 2,2.

Tabel 17 Procent af det resterende brændselsforbrug i 2035 i KF23 som i Transformationsscenarioet elektrificeres med varmepumper.

Elektrificeringsprocenter (VP) (2035)	Høj temp.	Middel temp.	Lav temp.
Gas	20%	50%	100%
Biomasse	20%	50%	80%
Olie	20%	50%	100%
Kul	20%	50%	100%
Virkningsgrad	220%	280%	320%

Yderligere forudsættes det, at dele af det resterende energiforbrug i 2035 kan elektrificeres enten ved direkte el eller ved elkedler.

Tabel 18 Procent af det resterende brændselsforbrug i 2035 i KF23 som i Transformationsscenarioet elektrificeres med direkte el eller ved elkedler.

Elektrificeringsprocent (Direkte + elkedel) (2035)	Høj temp.	Middel temp.	Lav temp.
Gas	40%	40%	0%
Biomasse	60%	40%	20%
Olie	60%	40%	0%
Kul	20%	40%	0%
Virkningsgrad	100%	100%	100%

I alt elektrificeres hhv. 100% af lavtemperaturen, 90% af middeltemperaturen og 65% af højtemperaturen.

I Transformationsscenarioet falder ledningsgasforbruget med 75% ift. 2022, biomasseforbruget falder med 73%, olieforbruget falder med 98% og kulforbruget falder med 91%.

Elforbruget stiger med hhv. 3,4 PJ til varmepumper og 10,8 PJ til direkte elforbrug og elkedler. Samlet falder energiforbruget til 30,5 PJ, hvilket er 5 PJ lavere end energiforbruget i 2035 i KF23.