



Ren energi

– indenfor planetære
grænser i 2040



Rådet for
Grøn
Omstilling

Kolofon:

Rapporten er udarbejdet af
Rådet for Grøn Omstilling.

Analyse og udarbejdelse: Bjarke Møller (ansv),
Erik Tang, Anna Fenger Schefte, Jens
Dahlstrøm Iversen, Jeppe Juul og Julie
Bangsgaard Abrahams.

Research og talanalyse: Jeppe Guldbæk
Hannibal.

Beregninger til rapportens
transformationsscenario er foretaget af
Ea Energianalyse.

Grafisk design: Anne Sofie Bendtson
Figurlayout: Sidsel Lauritsen og Benjamin
Buch-Andersen.
Tryk: KLS Pureprint A/S.

Om rapporten:

Rådet for Grøn Omstilling har modtaget
økonomisk støtte fra otte virksomheder, COWI,
Danfoss, European Energy, Innargi, Google
Danmark, Grundfos, Norlys og Vestas til at
udarbejde rapporten som led i et fælles
projekt om fremtidens energisystem

RGO er en uafhængig tænke- og handletank,
og rapporten er udarbejdet via desktop-
research, indsamling af forskningsresultater
og drøftelser med en række eksperter i
energisektoren. I arbejdet med rapporten har
RGO også løbende kunnet trække på viden og
inspiration fra virksomhederne. Disse kan dog
ikke tages til indtægt for rapportens indhold og
policy anbefalinger, der alene er RGO's ansvar.



Indhold

04–07

Forord
Et naturpositivt
energisystem
for Danmark

08–13

Kapitel 1
Sammenfatning

14–23

Kapitel 2
15 strategiske skridt
til et fossilfrit energi-
system i 2040

24–37

Kapitel 3
Farvel til det fossile
forbrændings-
samfund

38–51

Kapitel 4
Klima- og natur-
kriserne. Det
kostbare bagtæppe

52–71

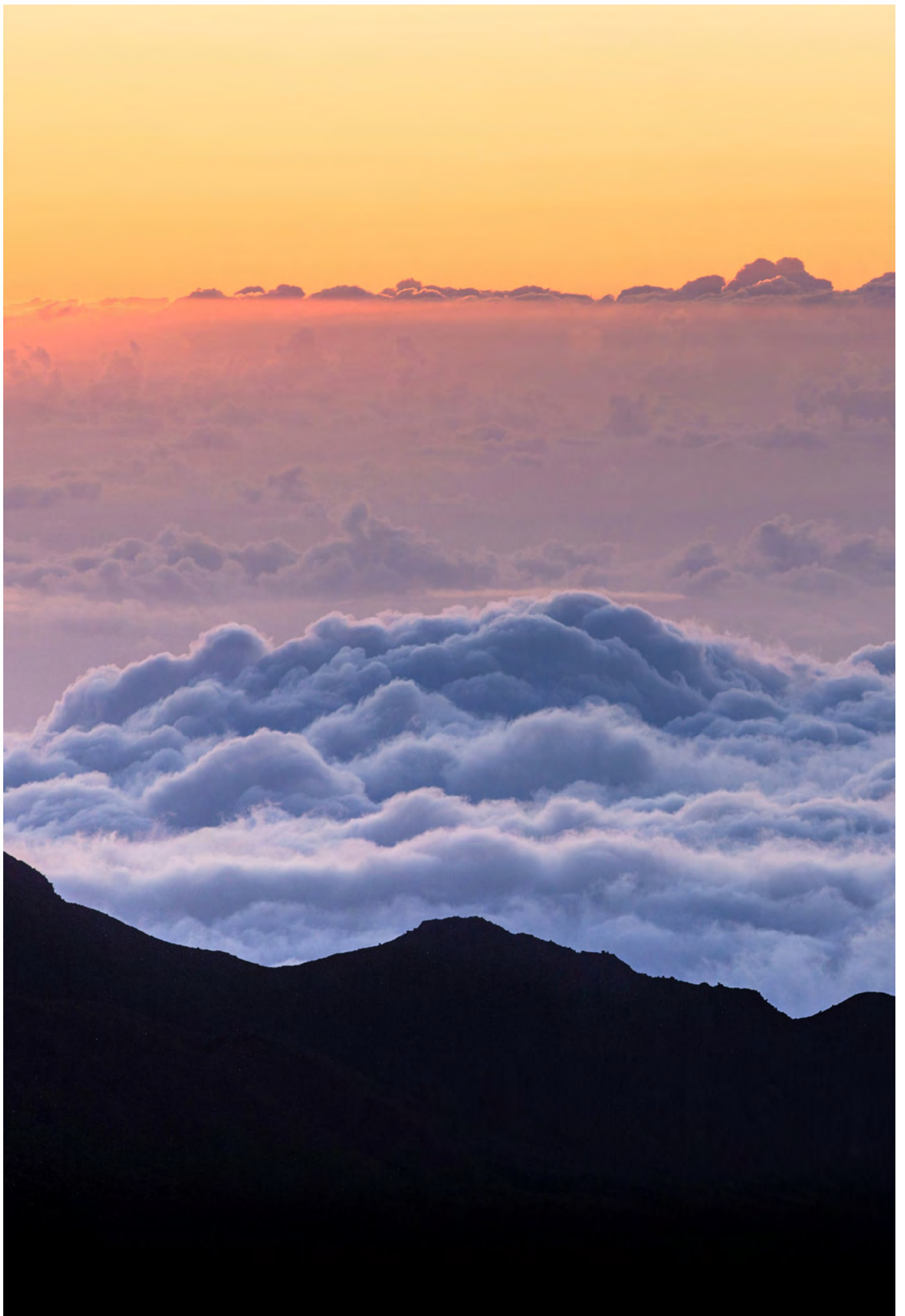
Kapitel 5
Den grønne
energirevolution.
Forstå S-kurverne

72–93

Kapitel 6
Transformationsvejen
– et scenarie for et
fossilfrit energisystem
i Danmark i 2040

94–97

Kapitel 7
Perspektivering. Et
fremtidsbillede for
Danmark anno 2040



Forord

Et naturpositivt energisystem for Danmark

Vi står overfor menneskehedens mest omfattende fælles projekt: Klimaomstillingen og at bringe samfundet indenfor sikre planetære grænser. Det er en omstilling, som kræver et opgør med over 200 års samfundsudvikling baseret på dyb afhængighed af fossile energikilder. Vi skal ændre hele den måde, vi producerer og forbruger energi på.

Det er som en månelanding. Og det kalder på en grundlæggende transformation af vores samfund.

Men det er heldigvis en opgave, vi kan løse. Vi har allerede teknologierne. Vi ved stort set godt hvilke veje, vi skal gå. Vi ved, hvad vi skal udfase, og hvad der er økonomisk effektivt at investere i.

Vinduet for handling er dog snart ved at lukke. Overskridelsen af 1,5 gradersmålet

fra FN's klimaaf tale i Paris er nu truende tæt på at blive tabt på gulvet, og vores resterende CO₂-budget er opbrugt om få år. Vi befinder os nærmest i en slags undtagelsestilstand, hvor vinduet lukker og handlerummet skrumper hastigt. Klimaskaderne kan i de kommende år få meget større negative konsekvenser for natur, miljø, menneskers livsvilkår og økonomiske velstand, end selv krige og andre menneskeskabte trusler.

De globale temperaturer har slået nye historiske rekorder i 2024, flere steder på kloden har man været udsat for umenneskelige hedeølger på over 50 grader Celsius, og ved Antarktis har temperaturerne været over 10 grader over det førindustrielle niveau. Advarselslamperne blinker overalt.

For vi gør stadig for lidt.

”I Danmark er vi under en sjettedel af vejen til et rent og askefrit energisystem, hvor vi er frigjort 100 pct. fra de fossile brændsler”

Hvis ikke vi tager opgaven på os i dag, skubber vi regningen foran os og videre til næste generation. Globalt set har menneskeheden aldrig brændt flere fossile brændsler af, end den gjorde i 2023. Selv om alverdens klimaforskere i mange år har advaret om, at det haster med at udfase den fossile energi, handler menneskeheden stadig på en måde, som truer vores fælles eksistensgrundlag i fremtiden.

I Danmark har vi et stort ansvar for at handle på den viden, vi har haft i mange år. Trods klimavalget i 2019 med vedtagelsen af et fælles klimamål og mange politiske hensigtserklæringer, har det til tider knebet med at få sat ekstra tempo bag den danske klimaindsats. Der er alt for mange snubletråde for en hurtig opstilling af sol- og vindenergi, som politikerne ellers bakker op om. Ofte har man udskudt de afgørende beslutninger eller satset stort på relativt usikre teknologier og håbet på, at den grønne omstilling ikke kommer til at gøre ondt på nogen.

Det er langt fra en holdbar strategi. Der er tværtimod brug for, at vi tager opgaven på os og handler nu – mens vi stadig har muligheden, inden vinduet lukker.

Vi har derfor akut brug for, at inertien erstattes af politisk mod og handling ud fra klare og realistiske planer. Nøglen til at løse klimakrisen er i første række en hurtig udfasning af olie, gas og kul, for størstepar-

ten af de udledte drivhusgasser stammer fra fossile energikilder. De dominerer i alle sektorer, bortset fra i elforsyningen. Over halvdelen af Danmarks bruttoenergiforbrug og to tredjedele af EU´s ditto stammer stadig fra fossile brændsler, og vi kan ikke løse klimakrisen uden at frigøre os fra dem. Vi sender mio. tons drivhusgasser ud i atmosfæren hvert år, fordi vi stadig brænder fast træbiomasse af i Danmark. Kun 13 pct. af vores bruttoenergiforbrug er ren vedvarende energi fra sol, vind, geotermi og varmepumper. I Danmark er vi under en sjettedel af vejen til et rent og askefrit energisystem, hvor vi er frigjort 100 pct. fra de fossile brændsler.

Vi har derfor nu brug for et ambitiøst *roadmap* for en hurtig, robust og systemisk omstilling, hvor vi udfaser fossil energi hurtigere, sætter ekstra fart på udbygningen af den vedvarende energi og skaber en ny bølge af energieffektivisering 2.0. Vi kan også meget hurtigere fjerne fossile biler på vejene, elektrificere produktionen, udvikle et fleksibelt og robust energisystem, fremme sektorkoblingen, udbygge energiinfrastrukturen, sænke overforbruget af træ til energi og mere aktivt bruge data og kunstig intelligens til at optimere vores energivalg i dagligdagen.

Der er meget at vinde på at gå denne vej. For klimaet, biodiversiteten, miljøet, vores sundhed og forsynings-sikkerhed. Og der kan opnås store økonomiske

gevinster. Priserne på sol- og vindenergi er allerede konkurrencedygtige med fossile brændsler, og priserne på batterier rasler ned i takt med skaleringen på verdensmarkedet. Ifølge tænketanken RethinkX, som har regnet på Tysklands omstilling til et fuldt bæredygtigt energisystem, kan kombinationen af sol, vind og batterier måske endda blive 70 pct. billigere end konventionel energi i løbet af det næste årti.

Danmark har heldigvis et stærkt udgangspunkt for at høste fordelene i den næste grønne forandringsbølge, hvor evnen til hurtigt at omstille alle energisystemer kommer til at afgøre nationernes fremtidige konkurrencekraft. Andelen af vedvarende energi i Danmarks elforsyning hører til de højeste i verden, og det har ikke mindst været drevet frem af det danske vindmølleeventyr. Også indenfor varmepumper, energieffektivisering, fjernvarme, geotermi, sektorkobling, energiparker og intelligente it-løsninger til energisektoren har danske virksomheder mange af de grønne løsninger, der efterspørges på verdensmarkedet.

Disse virksomheder står meget stærkere, hvis Danmark fremstår som et globalt fyrtårn, som andre nationer ser som en rollemodel. I 2023 eksporterede danske virksomheder energi- og miljøteknologier for en værdi af 87 mia. kr., men i de kommende år kan denne eksport mangedobles. I takt med, at flere og flere lande efterspørger effektive og rene energiteknologier til at nedbringe deres udledning af drivhusgasser, åbnes nye eksportmuligheder. En afgørende forudsætning for at lykkes er dog, at Danmark selv går foran. Samtidig bør Danmark som en grøn frontløbernation sætte sig i spidsen for, at EU løfter sine klimamål gennem en ambitiøs og fremsynet energipolitik, hvor de fossile brændsler udfases hurtigt.

Netop derfor har Rådet for Grøn Omstilling - efter input fra faglige eksperter og en gruppe grønne frontløbervirksomheder - opstillet et ambitiøst roadmap, der kan gøre Danmark fossilfrit allerede i 2040. Det er et transformationsscenario (T2040), der viser en realistisk reduktionssti frem mod 2040. Det er sket på baggrund af grundige beregninger og analyser af energisystemet.

Uanset hvilken energivej vi vælger at betrede, er tiden knap. Hvis vi skal forhindre klimatiske tipping points og sikre nye konkurrencefordele til vores grønne industrier, er der ikke tid til at begive sig ud ad flere omveje.

Fremtidens konkurrencekraft og velstand afhænger af, at det i de næste få år lykkes at lave en hurtig, effektiv og bæredygtig omstilling af hele vores energisystem. Danmark har alle de rigtige forudsætninger. Vi har mange af virksomhederne, der kan levere løsningerne. Opgaven er nu at samle alle kræfter om at frigøre os fra de fossile brændsler og opbygge et rent og vedvarende energisystem, som kan sikre os en robust forsyning af billig energi, der ikke skader klima, miljø og biodiversitet. Denne rapport viser, hvorfor det er vigtigt, hvorfor det er muligt, hvordan det kan gøres, og hvad der skal til for at nå i mål.

Det forudsætter dog et stærkt og bredt politisk lederskab at gøre Danmark til verdens bedste frontløbernation i den grønne energirevolution, som i de næste få år vil løbe de fossile energikilder over ende. Det er i vores bedste egeninteresse at tage fat på opgaven, for det gamle forbrændingssamfund er blevet en stadig mere kostbar affære.

SVM-regeringen og resten af det politiske Danmark bør ikke lade denne chance gå fra sig. Regeringen bør indkalde til forhandlinger om en samlet og ambitiøs grøn energiplan, der kan bane vej for et fossilfrit og askefrit energisystem i 2040. De kan med fordel invitere grønne frontløbervirksomheder og grønne organisationer med til forhandlingsbordet, så hele processen munder ud i et fremtidssikret og innovativt roadmap, som kan samle hele Danmark om den fælles opgave: At bygge et klimavenligt nulemissions-samfund, hvor Danmark i fremtiden kan operere sikkert og trygt indenfor de planetære grænser.

Det er vigtigt for klima og natur. Det handler om at sikre vores alles fremtid og eksistensvilkår. Det vil styrke vores fremtidige sikkerhed, hvis vi selv kan producere vores egen energi fremfor at importere den fra autoritære magter, hvis værdier vi ikke bryder os om. Og vi kan samtidig sikre arbejdspladser og konkurrenceevnen i et hastigt voksende verdensmarked for grønne teknologier og miljøløsninger.

Bjarke Møller,
Direktør i Rådet for Grøn Omstilling



Sammenfatning

Denne rapport opstiller et samlet *roadmap* for, hvordan Danmark kan frigøre sig 100 pct. fra de fossile brændsler og opbygge et askefrit og bæredygtigt energisystem allerede i 2040, hvor udledningen af drivhusgasser bringes i nul, og så vi derefter kan blive et klimapositivt samfund. Gennem en accelereret grøn omstilling af hele Danmarks energiforbrug og -produktion er det samtidig muligt at løse to brændende udfordringer, som hidtil har været ignoreret i dansk klimapolitik: Udfasingen af den store afbrænding af fast træbiomasse og at få elimineret emissionerne fra den internationale luft- og skibsfart, der bunkrer i Danmark.

Rapporten kigger ikke bare på det klassiske energiforbrug, men bygger på en udvidet og omfattende analyse af al den energi vi forbruger, og som holder hånden under vores fælles økonomi. I den økonomiske tænkning har energipolitik ofte været behandlet som sektorpolitik og energien har spillet en begrænset rolle. Denne rapport søger at forklare, hvorfor energien spiller en langt større rolle for produktivitet og velstandsudviklingen i samfundet. Der findes et betydeligt vidensgab, som skal overvindes. Indtil nu har de traditionelle analyser af energisystemet heller ikke forholdt sig ret meget til, hvordan vi i fremtiden får absolut bæredygtig energi indenfor planetære grænser. Denne rapport er en invitation til at tage disse udfordringer alvorligt.

Rådet for Grøn Omstilling har derfor - og med løbende input fra faglige eksperter og fra otte grønne frontløbervirksomheder - opstillet et *transformationsscenario* for Danmark, der har til formål at præsentere et realistisk og økonomisk ansvarligt bud på, hvordan Danmark kan udfase den fossile energi i alle dele af samfundet. Dette scenario, T2040, bygger på grundige beregninger udført af Ea Energianalyse på Balmorel-modellen.

Scenariet er udarbejdet for at vise de politiske beslutningstagere, at der er betydelige klimamæssige og økonomiske gevinster forbundet ved at vælge en accelereret grøn omstilling i stedet for en forsigtigere tilgang eller at hænge fast i *business as usual*. Det er en ekstremt vanskelig og krævende opgave for samfundet at udskifte et over 200-årigt fossilt energisystem og fossil infrastruktur, så al vores energi i 2040 kommer fra rene og vedvarende energikilder. Hele samfundet kan drives af grøn strøm i stedet for med forurenende fossile brændsler og fast træbiomasse. Denne opgave bør ikke undervurderes

T2040-scenariet er et konkret indspil til, hvordan udfordringen kan gribes an. Vores håb er, at regeringen og resten af Christiansborg lader sig inspirere og handler på det, så Danmark på markant og tydelig vis viser de øvrige EU-lande, hvordan man som land kan opbygge et moderne, fremtidssikret og robust

energisystem, der kan være med til at løse klimakrisen på en økonomisk ansvarlig måde. Der skal også være tilstrækkelig med grøn strøm, så danske PtX-fabrikker kan fremstille den næste generation af e-fuels til luft- og skibsfarten.

Danmark har et stærkt udgangspunkt for at gå foran i den store grønne transformation af energisystemet, og det bør også gøres til en hovedsag, når Danmark overtager EU-formandskabet i efteråret 2025.

HVAD KRÆVER OMSTILLINGEN?

Der findes mange forskellige veje til at realisere ambitionerne, men scenariet er opstillet for at give de politiske beslutningstagere et bedre og mere præcist værktøj at navigere ud fra. Der er klare milepæle undervejs.

T2040-scenariet forudsætter adfærdssændringer og vil bane vej for en ny bølge af energieffektiviseringer, som kan spare mere energi. Det indlejrede energiforbrug i alle produkter skal også nedbringes gennem en kraftig satsning på cirkulær økonomi, der kan nedbringe affaldsmængderne og sikre en langt større recirkulering af materialer i samfundet. Scenariet lægger op til en hurtigere og større skalering af sol- og vindenergi kombineret med langt mere energilagring og batterier, og der skal mange flere varmepumper og mere geotermi til for at skabe et absolut bæredygtigt energisystem med høj forsyningssikkerhed.

Der skal ske en hurtigere elektrificering af vejtransporten, industrien og varmeforsyningen, for det er en central forudsætning for at spare fossil energi og sikre en omkostningseffektiv omstilling. Gennem politiske reguleringer og økonomiske incitament, samt større investeringer i elnettets motorveje, kan elektrificeringen accelereres i alle dele af samfundet. Det vil øge efterspørgslen efter grøn strøm. I de seneste år har der været et stort fokus på udbudssiden, og der er givet mange politiske løfter i både Danmark og EU om flere gigawatt sol- og vindenergi. Det er fint. Men der har været alt for lidt fokus på efterspørgselsiden, og elektrificeringen på tværs af alle sektor er her en meget afgørende brik. For den kan også bane vej for en ny og større bølge af investeringer i vedvarende energi.

Det er også afgørende at skaffe nok grøn strøm til fremtidens behov. Der er brug for mange flere solceller og vindmøller, så man på de mange nye elektrolyseanlæg kan fremstille grøn brint og lave den næste generation af e-fuels til skibs- og luftfarten. Alle dele af samfundet skal dekarboniseres, og hvor det er muligt, skal det ske gennem en direkte elektrificering, da det er den billigste og mest energieffektive løsning. Men i luft- og

skibsfarten på de lange distancer og i dele af den tunge industri kan det blive nødvendigt at lave indirekte elektrificering via grøn brint.

Det er vigtigt at få opskaleret de grønne teknologier på markedet i samspil med nye proaktive grønne reguleringer. En mere proaktiv grøn industripolitik i EU, flere grønne offentlige indkøb og større målrettede investeringer i de nye teknologier skal understøtte en accelereret omstilling. Forskningsstudier viser, at det er billigere og mere omkostningseffektivt at fremskynde den grønne omstilling frem for at udskyde den og vælge business as usual. Vi befinder os heldigvis midt i en stor grøn energirevolution, hvor priserne på sol, vind, batterier og andre kritiske teknologier falder hurtigt. Danmark har en enestående historisk mulighed for at høste disse gevinster. Beregningerne bag det danske transformations-scenarie, T2040, viser, at det er billigere at lave en hurtig elektrificering af vejtransporten, industrien og varmforsyningen, men der er samtidig betydelige omkostninger knyttet til opbygningen af nye PtX-fabrikker, som kan fremstille e-fuels til luft- og skibsfarten. I stedet for at ekskludere den internationale transport fra de nationale og de europæiske klimaregnskaber, bør vi som samfund tage ansvar for at sikre en 100 pct. dekarbonisering af disse erhverv.

Alle sektorer skal bidrage for at sikre, at vi når i mål i forhold til de forbundne klima- og naturkriser, så vi kan leve indenfor de planetære grænser. Landbruget skal også gennem en større transformation, så vi kan nå dette mål. Denne rapport viser, at det intensive og industrialiserede landbrug i dag også har et meget stort forbrug af fossil energi, som knytter sig til den intensive drift med kunstgødning, pesticider og for stor animalsk produktion, og det lægger beslag på et stort areal udenfor Europa via import af sojabønner og energi fra hele verden.

Den samlede ligning kan kun gå op, hvis landbruget skærer kraftigt ned på den animalske produktion. I fremtidens landbrug fremstilles langt flere plantebaserede fødevarer, mere kulstof bindes i jorden og man udvikler nye bioøkonomiske forretninger, der kan skabe højere værdi på et langt mindre areal. Det kan frigøre store landbrugsarealer, der indtil nu er blevet brugt til at fremstille foder til dyr, og disse arealer kan fremover give plads til langt større skovrejsning, lysåben natur og til mere vedvarende energi.

GRØN TRANSFORMATION I DANMARK

Transformationsscenariet for Danmark (T2040) viser, at Danmark frem mod 2040 kan fjerne ekstra 207 mio. tons CO₂e i forhold til de udledninger, der følger af regeringens Klimafremskrivning. En hurtigere opskalering med energieffektiviseringer og vedvarende energi kan sammen med en mere ambitiøs elektrificering,

ring, cirkulær økonomi og langt større skovrejsning sikre disse ekstra klimaeffekter. T2040-scenariet viser, at Danmark kan nå ned i nettonul emissioner i 2040 og derefter suge CO₂e ud af atmosfæren uden at blive afhængig af ret meget CO₂e-fangst. Og i stedet for at satse på dyr lagring, skal den indfangede karbon bruges aktivt og nyttiggøres ved fremstillingen af kulstofholdige brændsler til den internationale transport, der ikke kan elektrificeres direkte.

Analysen viser, at:

- Danmark kan blive 100 pct. selvforsynende med ren vedvarende energi i 2040. Det er teknisk muligt og økonomisk realistisk at opbygge et balanceret, sikkert og absolut bæredygtigt energisystem med sol, vind, varmepumper og geotermi - stort set uden afbrænding af biomasse, og kun med en lille smule spidslast til ekstreme vejrtilg.
- I Danmark skal sol- og vindenergien øges med 4,3 gange frem mod 2030 og med ni gange frem mod 2040 for, at den samlede ligning kan gå op.
- Det vil være økonomisk fordelagtigt at øge mængden af landvind ud over de 20 GW i 2040, der er angivet i T2040-scenariet. Det vil dog kræve en stærkere opbakning fra lokale borgere, og at det lykkes at adressere bekymringer ift. biodiversitet, der er fremført af både biologer og miljøorganisationer. 20 GW kan dog sikres via en repowering af eksisterende møller, der er opstillet i landskabet, hvis de udskiftes med nye, moderne og høje vindmøller, som kan levere meget mere energi pr. mølle.
- Der opskaleres til 40 GW solceller i 2040. Hvis cirka en fjerdedel af solcellerne monteres på tagarealer og over parkeringspladser mv. – og der tages højde for teknologiudviklingen og en stigende energitæthed pr. celle – vil det kræve ca. 42.000 hektar på bar mark. Det svarer til knap 1 pct. af Danmarks samlede areal, eller under halvdelen af det landareal, der i dag bruges til at fremstille biobrændstoffer.
- Ambitiøs elektrificering af transport, industri og varmforsyning er rent økonomisk omkostningseffektiv. Transformationsscenariet er klart billigere end referencescenarierne på disse punkter, da det sikrer en hurtigere udfasning af fossil energi.
- Varmesektoren kan elektrificeres og drives med grøn strøm frem for ved at brænde fossil energi og fast træbiomasse af. Det primære input til fjernvarmen går fra biomasse og fossile brændsler til varmepumper og elkedler. Beregningerne viser, at det kan give forbrugerne en lavere varmeregning i hele perioden frem til 2040.
- Vejtransporten kan fuldt ud elektrificeres, og det vil både energioekonomisk og klimamæssigt være at attraktivt at fremskynde denne omstilling. En

hurtigere elektrificering af vejtransporten er særdeles fordelagtig. Gevinsten stiger i 2040 til hele 7,1 mia. kr. ift. referencescenariet. Gennem klare krav, fortsatte incitamenter til elbiler, højere afgifter på fossile biler og klare udfasningsmål for fossilbiler, kan politikerne sikre, at disse gevinster høstes.

- Iflg. modelberegningerne fra Ea Energianalyse ser de samlede omkostninger til T2040 ud til at blive 5,4 mia. kr. højere end i regeringens klimafremskrivning. Men når man medregner de positive samfundsøkonomiske gevinster i form af mere biodiversitet, mindre luftforurening og lavere sundhedsmkostninger, kan det samlet set blive billigere for Danmark at vælge T2040-scenariet. Desuden er der anlagt meget konservative skøn for de mulige prisfald for sol- og vind, men bliver prisfaldet større, sænkes omkostningerne til omstillingen.
- Der skal produceres grønt i Danmark, da vi kan trække på store mængder af billig vedvarende energi, men denne grønne brint skal bruges med måde på områder, hvor man ikke kan elektrificere og ikke har omkostningseffektive alternativer.
- Den væsentligste årsag til, at udgifterne til T2040 ligger højere, er den ekstra produktion af e-fuels – såsom e-kerosen, e-metanol og e-ammoniak – som skal sikre en fuld dekarbonisering af den internationale luft- og søfart, der bunkrer i Danmark. Det er estimeret, at omkostningerne hertil er over 9 mia. kr. højere end referencescenariet i 2040. Udgifterne øges også, fordi Danmark iflg. beregningerne kan komme til at mangle 1,65 mio. tons kulstof i 2040.
- I analysen er det lagt til grund, at det ekstra kulstof eventuelt kan indfanges via Direct-Air-Capture, men teknologien har et stort elforbrug og er meget omkostningstung, hvorfor der er behov for at undersøge andre måder at skaffe kulstof på.
- Beregningerne bygger på en antagelse, at flytrafikken - jf. internationale fremskrivninger – vil vokse med 61 pct. frem til 2040. Det kan virke meget højt, men historien har vist, at det er svært at begrænse folks rejselyst. Man kan fra politisk hold søge at begrænse denne vækst – f.eks. gennem højere passagerafgifter – og et sådant tiltag vil i givet fald mindske behovet for DAC. Det kan sænke de samlede udgifter til den grønne transformation af energisystemet. De ekstra omkostninger til at fremstille den næste generation af e-fuels kan dækkes via en passagerafgift på 470 kr. pr. udenrigsflybillet, hvilket i sig selv vil dæmpe vækstforløbet.
- Transformationsscenariet lægger desuden op til en betydelig udtagning af landbrugsjord og en anden

En hurtigere elektrificering af vejtransporten vil give en samlet gevinst på 7,1 mia. kr. i 2040

arealanvendelse inspireret af Klimarådets analyse om Danmarks fremtidige arealanvendelse og Fra foder til føde 2.

- Der sikres langt større negative emissioner via markant øget skovrejsning – plus en begrænset andel CO₂e-fangst og -lagring på affaldsanlæg og cementproduktion.
- Frem mod 2040 rejses 320.000 ha. ny skov, der både bidrager til at sikre vandmiljø, biodiversitet og at trække flere mio. tons CO₂e ud af atmosfæren til gavn for klimaet. Det er cirka 290.000 ha. mere end forudset i regeringens klimafremskrivning.
- Affaldssektoren og materialeforbruget i samfundet reduceres markant med overgang til mere cirkulær økonomi. Der vil blive etableret CO₂e-fangst på de resterende affaldsforbrændingsanlæg frem mod 2040.

En accelereret grøn omstilling af den måde vi forbruger og producerer energi på, vil rent samfundsøkonomisk være en overskudsforretning, da vi dermed kan undgå langt større klimaregninger i fremtiden, fremme biodiversiteten og nedbringe miljøforureningen, som er forbundet med betydelige omkostninger for samfundet.

I dag lever Danmark og resten af EU langt hinsides de planetære grænser, og det hænger tæt sammen med den måde, vi forbruger fossil energi på og har indrettet vores samfund. Denne rapport viser, at det europæiske el- og varmesystem med sin afhængighed af fossile brændsler og sit store overforbrug af fast træbiomasse, sprænger flere af de planetære grænser. Det er tid til at vælge en helt anden vej. Det bør være en ambitiøs, realistisk og omkostningseffektiv reduktionssti, der kan sikre, at vores energisystem bedre kan holde sig sikkert indenfor de planetære grænser – det gælder ikke mindst i forhold til klima, biodiversitet, luftforurening og arealanvendelse.

2/3

af verdens primære energi går tabt i det fossile forbrændingssamfund, inden den forvandles til aktivt arbejde.

68

pct. af hele dansk økonomis energiforbrug er fra fossile brændsler. Den andel har været stabil i de sidste par årtier. Nationalt er tallet 53 pct., men det øges med 15 procentpoint, når vores internationale transport medregnes

12

pct. af BNP. Så stor bliver den ekstra regning for samfundet for hver ekstra grad, verdens temperaturer stiger

120

mio. tønder olie. Så meget forbruger Danmark hvert år. Omregnes energiindholdet til menneskelig arbejdskraft svarer det til 540 mio. menneskers arbejde i 365 dage og 24 timer i døgnet

9

gange mere sol- og vindenergi kan gøre Danmark 100 pct. selvforsynende med vedvarende energi om 15 år

207

mio. ton CO₂e kan spares inden 2040 ved at vælge den grønne transformationsvej i stedet for at følge regeringens klimafremskrivning

6

af de 9 planetære grænser er allerede sprængt. Fossil energi er hoveddriveren bag flere af kriserne

80

pct. er prisen på solceller og batterier faldet på 10 år. Sol- og vindenergi er på livslange omkostninger nu billigere end fossile brændsler. Og landvind med batterilagring er billigere end atomkraft

90

pct. af alle verdens CO₂ stammer fra afbrænding af fossile brændsler

470

kr. i passagerafgift på danskernes internationale flyrejser kan betale regningen for at fremstille fossilfrie e-fuels til Danmarks internationale fly og skibe i 2040

2000

gigatons CO₂. Så stort var verdens rest CO₂-budget ved indgangen til 2024, hvis vi skal holde os indenfor Paris-aftalens 1,5 graders mål. Hver verdensborger har kun 24,4 ton CO₂ til rådighed. Allerede om to år løber Danmarks rest CO₂-budget ud, hvis vi regner på danskernes forbrugsbaserede aftryk

5,4

mia. kr. – eller mindre end ½ af den årlige statsstøtte til landbruget. Så billigt er det i 2040 at gøre Danmarks energi helt fossilfrit. Oveni får vi øget biodiversitet, mindre luftforurening og lavere sundhedsmkostninger

655

liter dieselolie. Så meget fossil energi er der indlejret i en europæers fødevarer



15 strategiske skridt til et fossilfrit energisystem i 2040

Der er brug for ambitiøs politisk handling og stort politisk mod, hvis vi frem mod 2040 skal lykkes med at udvikle et fossilfrit energisystem, der er baseret på vedvarende energi, og som holder sig inden for de planetære grænser. Danmark er indtil nu kun kommet en sjettedel af vejen til at nå dette mål. Derfor er der brug for et politisk paradigmeskifte og langt større handlekraft.

Vi skal væk fra at betragte klimapolitikken som et enkeltstående ressortområde og i stedet gøre klima- og energiomstillingen til et afgørende parameter i Danmarks økonomiske politik. Energifpolitik bør fremover behandles som storpolitik og ikke som sektorpolitik.

På grund af klimakrisen kan vi ikke længere udskyde de nødvendige klimapolitiske beslutninger. Og af hensyn til økonomien er det i vores bedste egeninteresse at sikre en hurtig udfasning af de fossile brændsler og biomasseafbrænding, som har skabt et miljøskadeligt og ineffektivt energisystem.

Omstillingshastigheden skal skrues kraftigt op. Inden for de næste 100 dage bør der gennemføres en ambitiøs og gennemgribende energi- og klimapolitisk handleplan, der kan sikre, at Danmark senest i 2040 har et 100 pct. fossilfrit energiforbrug og kan styrke sin konkurrencekraft i det globale energikapløb til absolut bæredygtighed inden for de planetære grænser. Samtidig bør Danmark tage ansvar for sin andel af udledningerne fra den internationale transport og udfase afbrændingen af fast træbiomasse.

Der er brug for politisk handling på to niveauer, hvis ambitionen skal realiseres:

1. Større strategiske og langsigtede politiske satsninger: Der er brug for en gennemgribende revision og acceleration af større klima- og energipolitiske prioriteringer og satsninger, med klare fravalg og tilvalg, som er nødvendige for en robust og sikker systemisk energiomstilling til absolut bæredygtighed. Det gælder det politiske ambitionsniveau, forudsætninger, virkemidler og økonomiske prioriteringer. Danmark bør i praksis operere som en grøn frontløberation og tage et aktivt grønt lederskab i EU, når vi overtager EU-formandskabet den 1. juli 2025.
2. Politiske tiltag, der kan fjerne akutte benspænd: De helt åbenlyse barrierer, der i dag står i vejen for energiomstillingen, skal ryddes af vejen hurtigst muligt. Det gælder de uhensigtsmæssige lovgivninger, rammevilkår og prioriteringer, der gør det besværligt og dyrt at opstille vedvarende energi eller skaber skæve incitamenter. Der er også brug for en mere ambitiøs klimapolitik i Danmark, som gennem højere CO₂-priser i alle sektorer kan accelerere transformationen væk fra alle fossile brændsler og fast træbiomasse. Al statsstøtte til fossile brændsler - herunder i form af afgiftsfritagelser for virksomheder, der brænder fossil energi af - bør fjernes og kanaliseres over til målrettede grønne indsatser, der giver en hurtig og mærkbar klimaeffekt.

Håb er som bekendt ingen holdbar strategi. Rådet for Grøn Omstilling har derfor – med input fra faglige eksperter og otte grønne frontløbervirksomheder - opstillet en realistisk og afbalanceret transformationsplan, som er et konkret bud på, hvordan vi kan fremtidssikre vores energiforsyning og gøre den absolut bæredygtig. I stedet for at knytte meget store forhåbninger til usikre skov- og lavbundstal, eller at lade en for stor del af klimapolitikken afhænge af alt for optimistiske fremtidsskøn for CO₂-fangst og pyrolyse, kan man i stedet vælge transformationsvejen. Den prioriterer sikre, effektive og hurtige teknologiske og økonomiske tiltag, der med høj sandsynlighed har en stor og positiv klima- og natureffekt.

Planen lægger op til langt større ressource- og energibesparelser gennem nye tiltag til fremme af cirkulær økonomi og mere ambitiøse mål for energieffektiviseringer. Transformationsplanen kan gøre Danmark helt fossilfrit og klimaneutralt i 2040, og den vil spare ekstra 207 mio. tons CO₂e på vejen derhen. Planen bygger på grundige beregninger på effekterne i det samlede energisystem, der er foretaget af Ea Energianalyse.

Der skal tages mange delskridt på vejen, og det er vigtigt, at disse aftales i brede forlig, så alle aktører i energisektoren ved, hvad der planlægges efter, når der skal foretages nye store langtidsinvesteringer. Men de politiske beslutningstagere bør mindst tage 15 afgørende skridt for at realisere målet om et CO₂-neutralt og fossilfrit dansk energisystem baseret på 100 pct. ren og vedvarende energi.

1. Vedtag en ny klimalov i 2025, der sætter et klart mål med årlige reduktioner, så Danmark senest i 2040 kan blive et nettonul-samfund og i de følgende år levere negative emissioner.

Danmark bør aktivt arbejde for at tage ansvar for sin del af arbejdet med at holde de globale temperaturstigninger under 1,5 grader Celsius. Det kræver større reduktioner i slutningen af 2020'erne og 2030'erne, da den aktuelle politik ikke sikrer dette.

Danmark har som andre velstående nationer i verden en særlig forpligtelse til at holde sig sikkert inden for 1,5 graders målet. I transformationsplanen er der en klar reduktionssti frem mod nettonul i 2040, og ved at vælge den kan Danmark samlet spare atmosfæren for 207 mio. tons CO₂e i forhold til, hvis man fortsætter den nuværende kurs i dansk klimapolitik. En hurtig transformation kan samtidig mindske behovet for, at der sidst i perioden skal investeres store ekstrabeløb i dyr og energikrævende

CO₂-fangst og lagring. Den danske regering bør bruge en ny ambitiøs klimalov som afsæt til også at hæve EU's ambitionsniveau, så EU mindst sikrer 95 pct. reduktion af CO₂e-udledningerne i 2040 og når nettonul i 2045.

2. Gør de økonomiske modeller endnu grønnere.

Danmark bør operere som en grøn frontløbernation i den økonomiske politik. Det er meget positivt, at Finansministeriet har fået en grøn reformmodel, men mange af de nuværende finanspolitiske prioriteringer baserer sig stadig på økonomiske modeller og beregninger, der ikke ordentligt tager højde for energiens betydning for produktiviteten. Man værdisætter heller ikke i tilstrækkelig grad energieffektiviseringer, fordi det kan sænke statens provenu fra energifgifter.

De mange negative sideeffekter for klima, natur og miljø i de forskellige økonomiske valg bør fremover medregnes, når strategiske samfundsbeslutninger træffes. De årlige tab i biodiversitet, udledning af drivhusgasser samt luft- og vandforurening andrager mindst 10 pct. af Danmarks bruttonationalprodukt, og det er vigtigt, at værdien af naturens gratis serviceydelser og vores miljøs kader regnes ind fra starten af. I stedet for at dyrke blind BNP-vækst uden at tage højde for de negative sideeffekter, bør den økonomiske politik i de kommende år føre til positive naturforbedringer og fremgang i den menneskelige livskvalitet.

Når der fremover laves samfundsøkonomiske beregninger ved anlæg af ny infrastruktur, offentlige udbud eller andre offentlige investeringer, bør man tage udgangspunkt i en højere CO₂-pris. I sine seneste forudsætninger er Energistyrelsens anvendte CO₂-pris i 2030 kun 738 kr. pr. ton. Det er alt for lidt. Når Energistyrelsen og andre offentlige myndigheder bruger en så lav sats, risikerer samfundet at træffe forkerte beslutninger, der gør det dyrere end nødvendigt at nå målet om nettonul-emissioner.

Hvis man som i Klimaloven skal reducere de danske udledninger med 70 pct., kræver det i de opdaterede følsomhedsanalyser en CO₂e-pris på mindst 1.725 kr. (2023-priser) pr. ton i 2030. Hvis vi skal nå nettonul endnu tidligere, bør man i 2030 minimum anvende en højere beregningsteknisk CO₂-pris, end der anvendes i dag ved samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger. Det er ikke nok blot at fastlægge den ud fra den forventede fremtidige kvotepris.

“Transformationsplanen kan gøre Danmark helt fossilfrit og klimaneutralt i 2040, og den vil spare ekstra 207 mio. ton CO₂e på vejen derhen”

“ Danmark bør sætte et mål om at spare mindst 23 pct. af energien i 2030 og mindst 40 procent i 2040”

3. Lav en grøn skatte- og afgiftsreform, der sætter klimaet og naturen i centrum

Som led i opdateringen af de danske klimamål bør der indkaldes til forhandlinger om en ny grøn skatte- og afgiftsreform. De grønne afgifter som andel af bruttonationalproduktet er faldet markant i de sidste 25 år – fra 5 pct. af BNP til 2 pct. af BNP i 2023- men hvis Danmark skal være en grøn frontløberation, bør skatte- og afgiftssystemet gøre det dyrere at forurene klima og natur. Nye afgifter skal fremme udbygningen med vedvarende energi og nye energi- og ressourceeffektive tiltag i virksomheder og husholdninger. Grundprincippet bør være, at forurenere betaler, således der gives klare økonomiske incitamenter til adfærdssændringer, og at det bliver mere attraktivt at investere i nye grønne løsninger og teknologier.

Den danske CO₂-afgift – inklusive EU' s kvotepris – bør mindst hæves til 1500 kr./ton CO₂e i 2030 og gerne til 2000 kr/ton i 2035 for at forbedre de økonomiske incitamenter til at spare på fossil energi og at reducere udledningen af drivhusgasser. Afgiften skal dække alle dele af produktionen i Danmark – herunder også virksomheder inden for mineralogiske processer og landbruget – da en høj og ensartet afgift er den mest omkostningseffektive måde at accelerere klimaindsatsen.

CO₂-afgiften skal indføres gradvist fra 2026 og være fuldt indfaset i 2030. Udover denne forhøjede CO₂-afgift, bør der i 2025 indføres ekstra høje punktafgifter på fossile biler, så nysalget af fossile biler kan udfases helt. Endvidere bør der lægges en forbrugsbaseret afgift, på eksempelvis klimabelastende fødevarer som kød og mælk, såvel som på flyrejser, så klimaaftrykket bedre afspejler sig i prisen på de fødevarer og flyrejser, vi køber. Samtidig kan med fordel overveje at nedsætte elafgiften, så det bliver endnu mere attraktivt at skifte fossile brændsler ud med el.

4. Ny teknologirealisme – sats på de hurtigste og mest klimaeffektive tiltag

Der er brug for en ny form for teknologirealisme. Allerede i dag har vi en række alternative, kendte og afprøvede energiteknologier som sol, vind, varmepumper, batterier og geotermisk varme, som hurtigt og med stor sikkerhed kan bringe Danmark i mål med klimaambitionerne. Men klimaindsatsen og opfyldelsen af Danmarks klimamål har indtil nu i alt for høj grad været baseret på opskrevne forventninger til bl.a. pyrolyse og CO₂-fangst, der er under udvikling, men endnu ikke i tilstrækkelig grad har bevist deres reduktionspotentialer.

“De grønne afgifter som andel af bruttonationalproduktet er faldet markant i de sidste 25 år – fra 5 pct. af BNP til 2 pct. af BNP i 2023”

Staten bør i højere grad fremme teknologier og tiltag, som har en sikker klima- og miljøeffekt frem for at satse for hårdt på at hente CO₂-reduktioner på teknologier, der stadig mangler at levere sikre effekter. Langt flere af de offentlige midler til den grønne omstilling bør bruges til at fremme en hurtigere elektrificering, opskalering af ren vedvarende energi, varmepumper, batterier til langtidslagring af energi, varmelagre og geotermisk varme, samt at støtte dårligt bemidlede husstande, så de hurtigere kan udskifte olie- og gasfyr med varmepumper eller få lagt fjernvarme ind. Den nye teknologirealisme bør også mere proaktivt understøtte en elektrificering af vejtransporten, så vi ikke ender med en stor bestand af fossile biler i 2040'erne, der vil gøre det sværere og dyrere at nå vores nationale klimamål.

5. Fremlæg en ambitiøs handleplan for energieffektivisering:

Det er positivt, at regeringen har lavet en køreplan for energieffektivitet, men nu gælder det om at sætte reel handling bag ordene. Danmark bør overimplementere EU' s direktiver på området, EED og EPBD, så de danske mål for energieffektivisering sættes højere end EU-målene. Der bør laves en bred politisk aftale inden udgangen af 2024, så der er en klar retning, som markedets aktører kan levere på. Danmark bør sætte et mål om at spare mindst 23 pct. af energien i 2030 ift. 2020/2019 og mindst 40 procent i 2040. Planen bør have fokus på elektrificering, energibesparelser, sektorintegration og optimering af alle systemer.

“Danmark får brug for en syvdobling af sol- og vindenergi på land og til havs frem mod 2035 og en nidobling i 2040, så Danmark til den tid kan blive 100 pct. selvforsynende med ren vedvarende energi”

En 2.0 plan for energieffektiviseringer skal ikke bare afgrænses til det klassiske energiforbrug, men være holistisk og berøre alle sektorer. Her er det vigtigt også at sætte ekstra fart i den cirkulære økonomi, så man gennem en øget recirkulering, genbrug og genanvendelse i alle sektorer kan reducere det indlejrede energiforbrug, og dermed reducere CO₂e-udledningerne. Energieffektivitet og ressourceeffektivitet bliver centrale konkurrenceparametre for virksomhederne i fremtiden. Ved at gøre sådanne høje grønne krav til en central del af kravsspecifikationerne ved alle offentlige indkøb kan staten, regionerne og kommunerne være med til at udvikle en ny generation af virksomheder, der konkurrerer på absolut bæredygtighed frem for blot at konkurrere ned på den laveste fællesnævner og pris.

Hvert år bør der følges op på planen, samtidig med at der gøres status for klimaindsatsen. Danmark skal gennem hurtig implementering blive en rollemodel for, hvordan andre EU-lande kan opnå store økonomiske gevinster gennem en målrettet og seriøs indsats.

6. Sæt yderligere turbo på udrulning af sol og vind.

Der er ikke tilstrækkelig fart på udbygningen af sol og vind, og Danmark sakker agterud i EU. Meget sander til i bureaukrati, langsom sagsbehandling, højere tariffer og reguleringer på slingrekurs. Og udbygningen med havvind har oplevet flere tilbageslag i de sidste par år.

Der er brug meget mere grøn strøm, hvis Danmark skal lave fremtidens PtX-brændstoffer og udfase fast træbiomasse i vores energiforsyning. Vi anbefaler en accelereret udbygning af sol- og vindenergi på land og til havs, der øger den samlede kapacitet med mindst 4,3 gange frem mod 2030. Men i takt med elektrificeringen af samfundet bliver der brug for endnu mere grøn strøm. I forhold til den stigende efterspørgsel efter grøn strøm får Danmark brug for en syvdobling af sol- og vindenergi på land og til havs frem mod 2035 og en nidobling i 2040, så Danmark til den tid kan blive 100 pct. selvforsynende med ren vedvarende energi.

Nøglen er en langt hurtigere opstilling af VE på land, hvor alle landets kommuner og borgerne inddrages som medspillere. Der skal her arbejdes videre med incitamenter til kommunerne, f.eks. i form af overskudsdeling fra grøn energiproduktion. Der bør laves accelerationszoner for opstilling af landvind og solcelleanlæg, som også medtænker energilagring og batterier. Der er behov for en simpel, hurtig og smidig proces for miljøvurderinger, så tilladelser til nye solcelleanlæg bringes ned til 3 måneder, som man har gjort i Tyskland.

Godkendelsestiden for nye landvindmøller bør ikke overstige 6 måneder. Og man bør også som Sverige og Tyskland tillade, at høje vindmøller kan etableres i produktionsskov, og det skal ske i respekt for Natura-2000 reglerne og andre rimelige naturhensyn.

Der er også brug for en ny åben dør 2.0 for havvind, som giver markedsoperatørerne et friere og større spillerum. I stedet for at begrænse udbygningen af havvind bør Danmark stille langt større andele af sit havterritorie til rådighed for at udvikle vedvarende energi. Via klare og harmoniserede prækvalifikationskrav skal man åbne døren til markedsbaserede bud på en stribe nye offshore projekter. Staten bør kræve, at offshoreprojekterne lever op til udvalgte ikke-priskriterier – f.eks. sikring af miljø og biodiversitet. Staten og developeperne bør aftale en rimelig model for overskudsdeling, så samfundet også får andel i overskuddet.

7. En national elektrificeringsplan.

Øget elektrificering er en ofte overset, men smart genvej til at spare energi i alle brancher. Ifølge Klima-, Energi- & Forsyningsministeriet kan 60 procent af Danmarks CO₂-udledninger elektrificeres. Der er med vedtagelsen af den såkaldte elektrificeringsstrategi fra 2021 lagt flere spor ud, men elektrificeringen går for langsomt. Danmark kan her med fordel sætte et nationalt mål om mindst at elektrificere 90-95 pct. af industrien og stile efter en 100 pct. elektrificering af hele varmforsyningen og af vejtransporten. Den direkte elektrificering af industrien og transportsektoren bør accelereres, da det er meget mere omkostningseffektivt end at satse på fossil energi eller indirekte elektrificering via grøn brint, hvor der kan være store energitab. Der bør sættes årlige mål for, hvordan man på en omkostningseffektiv måde kan elektrificere de forskellige sektorer.

En hurtigere elektrificering er en afgørende forudsætning for at stimulere øget efterspørgsel efter grøn strøm, så markedet hurtigere kan skalere den vedvarende energi og gøre det til en god forretning.

Det er ikke nok blot at opstille ambitiøse mål på udbudssiden. Det er vigtigt, at man både i Danmark og i EU aktivt accelererer udfasningen af fossile brændsler i alle sektorer, hvilket vil stimulere efterspørgslen efter grøn strøm, som igen kan udløse nye investeringer.

8. Digitalisering af alle energisystemer

Digitale teknologier, softwareløsninger og kunstig intelligens får en strategisk betydning, når sol- og vindenergi bliver dominerende i den danske og den europæiske energiforsyning.

Danmark har som et af de mest digitaliserede lande i Europa et stærkt udgangspunkt for at blive frontløber i den næste bølge af digitalisering af energisystemet. Alle husstande har smarte elmålere, mange virksomheder bruger allerede kunstig intelligens, og Danmark har en stolt tradition for at udvikle systemiske løsninger, der kobler behovene i forskellige sektorer. Denne styrkeposition bør bruges til at udvikle en proaktiv og fremsynet digitalisering af alle energisystemer i Danmark.

Med øget anvendelse af bl.a. kunstig intelligens kan man f.eks. hurtigt sikre en ordentlig balance i nettet mellem produktion og efterspørgsel eller flytte elforbruget til perioder, hvor den grønne strøm er billig. Med kunstig intelligens er det nemmere at optimere i hele energisystemet, at sikre effekttilstrækkelighed selv ved uforudsigelige vejrtilstande eller at fremme en høj forsyningsikkerhed.

I et grønt energisystem med mere fleksibel produktion og forbrug af både varme og el, bør en større del af fjernvarme- og elafgifterne være tidsdifferentierede, så det bliver attraktivt for forbrugerne at spare energi og skruer ned for termostater og eludstyr i spidsbelastningsperioder.

Elmålerne skal udstyres med standardprotokoller og åbne kommunikationssystemer, så de lettere kan interagere med forskellige it-systemer, og det bliver lettere at lave nye energibesparende tiltag. Man kan også give borgere og virksomheder adgang til data og digitale værktøjer, så de bedre kan styre deres energiforbrug og regninger. Samtidig er det vigtigt at styrke cybersikkerheden, så energisystemet er robust til at modstå hackerangreb. Som en grøn og digital frontløberation bør Danmark bruge sit EU-formandskab til at sætte ekstra fart i en tiltrængt digitalisering af det europæiske energisystem.

9. Udbyg Danmarks elnet og styrk det med flere europæiske forbindelser.

Overgangen til vedvarende energiforsyning kræver en massiv udbygning af Danmarks elnet såvel som af elnettet på tværs af Europa, så der ikke opstår trafikpropper og kapacitetsmangel på elnettets motorveje. Det kræver langt større investeringer i udbygning af elnettet.

Elinfrastrukturen i den kommende årrække vil blive mere synlig, når der lægges nye ledninger og sættes flere højspændingsma-

“Danmark bør bruge sit EU-formandskab til at sætte ekstra fart på en tiltrængt digitalisering af det europæiske energisystem.”

ster op i landskabet, men det er nødvendigt for at gøre samfundet klar til fremtidens elektrificerede energisystem.

Det er en stor opgave at understøtte elektrificeringen af Danmark, og det er helt afgørende, at det sker til tiden. Man bør prioritere hastighed i udbygningen og tage en politisk principbeslutning om, at der skal investeres i elnettet på forkant.

Det statslige ejede Energinet skal have mulighed for at tage større risiko og bygge hurtigere ud til at understøtte fremtidens energisystem. Det gælder om at sikre forsyningskæderne og få rettidige indkøb af råvarer til udbygningen. Derfor bør de finansielle rammer for elnetselskaberne justeres, så de bedre kan opbygge til lager i udbygningen. Der er også brug for større transparens og et styrket samarbejde mellem Energinet og netselskaberne.

Det er vigtigt i højere grad at fremme fleksible og differentierede tariffer, som kan bidrage til at flytte noget af elforbruget ud af spidsbelastningsperioder. Dermed kan man få mere ud af nettet og sænke omkostningerne til den grønne omstilling. Digitalisering og en større anvendelse af kunstig intelligens bør samtidig tages i anvendelse for at optimere energistrømmene i nettet.

Der er også brug for flere og stærkere udlandsforbindelser, som kan bidrage til at sikre øget stabilitet på tværs af grænserne. EU bør sikre bedre udnyttelse af de eksisterende forbindelser, herunder at få medlemslandene til at overholde EU's minimumsmål om, at mindst 70 pct. af kapaciteten holdes åben for nabolandene. Medlemslandene

Danmark har en straks-udledning på over 20 mio. ton CO₂e om året på grund af afbrænding af biomasse

bør internt afhjælpe flaskehalse. EU's RED3-direktiv skal implementeres, og Danmark bør lave accelerationsområder for udrulning af elnettet.

10. Udfas fast træbiomasse i el- og varmeproduktion.

Danmarks afbrænding af fast træbiomasse bør udfases gradvist. Den har i dag nået et uholdbart niveau, der skader klimaet og overskrider de planetære grænser. Danmark importerer over 3,5 mio. tons træpiller og skovflis om året og lægger beslag på store skovarealer uden for landets grænser. Disse træer kunne suge CO₂ fra atmosfæren, eller biomassen kunne indlejres i træbaserede materialer med højere værditilvækst end afbrænding. Der bør indføres en afgift på biomasse, der afbrændes, og træbaseret biomasse, der er importeret fra udlandet, udfases senest i 2035.

Afbrænding af biomasse skal inkluderes i de reviderede CO₂-afgifter, og man bør undlade at give flere offentlige midler til el-produktion og til CO₂-fangst anlæg på biomassefyrede kraftværker. I EU bør Danmark arbejde for at få udfaset statsstøtten til afbrænding af fast træbiomasse. Det er vigtigt for at skabe mere fair konkurrencevilkår for rene vedvarende energikilder som sol-, vind- og hydroenergi, samt geotermi.

I 2027 bør man desuden genbesøge erfaringerne fra den statsstøttede CO₂-fangst på Ørstedes biomasseanlæg i Asnæs og Avedøre for at vurdere om fangstresultaterne svarer til forventningerne. Det vil, som denne rapport viser, være problematisk i forhold til de planetære grænser at lave en større opskalering af CO₂-fangst på biomasseanlæg, og disse grænser bør respekteres.

11. Investér meget mere i energilagring

Danmark bør mere proaktivt investere i energilagring, som er en meget vigtig brik i transformationen til fleksible og fluktuerende energikilder. I fremtidens energisystem, hvor den gamle spidslast fra fossile energikilder forsvinder, er det vigtigt at opbevare grøn energi over længere perioder. Samtidig er der stigende fleksibilitetskrav, hvor man bl.a. hurtigt skal kunne føde ekstra grøn strøm ind i nettet eller stabilisere nettet i perioder med pludselige og store svingninger.

Der bør etableres flere varmelagre i tilknytning til landets fjernvarmeselskaber, så varmforsyningen kan stabiliseres og gøres klar til en fremtid uden fossile brændsler og uden fast

træbiomasse som spidslast. Geotermi kan også bidrage til at sikre en mere stabil varmforsyning.

Danmark bør samtidig mangedoble investeringerne i langtidslagring af energi på batterier. Priserne på batterier, der kan langtidslagre energi (BESS), er faldet meget og lagringskapaciteten pr. container er nu så høj, at de også bliver et attraktivt supplement til at fremme en større forsyningssikkerhed.

De hidtidige barrierer for mere energilagring bør ryddes væk. For det første har tarifferne stor betydning for energilagring og batterier, og i dag er rammerne indrettet sådan, at batterier dobbelttariferes, fordi de lagrer – dvs. forbruger – energi fra nettet, og samtidig føder energi ind i nettet. Det til trods for, at de bidrager til at stabilisere elnettet. Derfor er det afgørende, at der bliver sat turbo på udviklingen af omkostningsægte tariffer for energilagring, herunder batterier. Danmark bør følge Tysklands eksempel og fjerne dobbeltbeskatningen af den grønne strøm, der lagres på batterier, så det bliver attraktivt for markedets aktører at investere mere i langtidslagring på batterier.

Reglerne for opstilling af batterier bør også gøres klare og ligetil for kommunerne. I dag er det uklart, om batterier behandles som en industri, når der planlægges for opsætning af batterier i tilknytning til vedvarende energianlæg. Det er en u hensigtsmæssig barriere for batterier i energisystemet. Der bør skabes klare rammer, så kommunerne kan planlægge med blik for det samlede energisystem. Endvidere er der behov for mere transparens i kommunikationen mellem VE-opstillere og netselskaber, når lageranlæg skal tilsluttes elnettet – herunder nettilslutningstider.

Tilslutning af lageranlæg, herunder batterier, er en ny opgave i Danmark, der kan være med til at sikre et mere sammenhængende og stabilt energisystem. Der er behov for at skabe en klar og lettilgængelig proces med sikkerhed for investeringer.

12. Brint skal bruges målrettet og integreres klogt.

Danmark har med sine store mængder af vindenergi gode muligheder for at opbygge en konkurrencedygtig dansk produktion af grøn brint, så vi selv kan fremstille den nye generation af e-fuels, herunder e-ammoniak, e-metanol og e-kerosen, til vores internationale skibs- og luftfart. Samtidig kan brinten bruges som et ekstra energila-

“Danmark bør følge Tysklands eksempel og fjerne dobbeltbeskatningen af den grønne strøm, der lagres på batterier, så det bliver attraktivt for markedets aktører at investere mere i langtidslagring på batterier”

“Den grønne strøm skal bruges klogt og kun på områder, hvor direkte elektrificering ikke er mulig. Samtidig kan brinten bruges som et ekstra energilager.”

ger. Den grønne brint skal bruges klogt og kun på områder, hvor direkte elektrificering i dag ikke er mulig - såsom langdistance luft- og søfart, tung industri, gødningsproduktion, kemikalier og visse materialer.

Det er vigtigt at sikre de rette rammer for dansk produktion af grøn brint, men det forudsætter, at der hele tiden er adgang til overskydende vedvarende energi i nettet, så man ikke bliver indirekte afhængig af fossile brændsler. Der skal være samtidighed mellem VE og udbygningen af grøn brint, og det er vigtigt at sikre, at der i lokalområdet kan skaffes tilstrækkelige mængder af ultrarent vand. Der bør desuden tænkes i samplacering, så man undgår transport af grøn brint over lange afstande. Hvis markedsaktører ønsker at etablere brintrør fra Danmark til tyske industriområder og at transportere den grønne brint over lange afstande, bør det ske uden offentlige midler.

13. Gør det attraktivt for kommuner og borgere at sige ja til mere VE.

Et solidt flertal af danske borgere har i meningsmålinger sagt, at de ønsker mere vedvarende energi i deres lokalområde. Dette grønne engagement skal omsættes til handling, og her er det vigtigt at fjerne alle snubletråde. Danmark bør derfor følge Europa-Kommissionens anbefaling om at stimulere borgernes deltagelse, fremme lokale energifællesskaber og give kommunerne en større andel af gevinsterne ved omstillingen til vedvarende energi.

Alle kommuner bør invitere til energiborgermøder for at få borgere og developere bragt sammen i en fælles dialog om, hvordan man kan blive 100 pct. fossilfri energi, og hvad det kræver. Det kan bidrage til at sikre et folkeligt medejerskab for den grønne omstilling og fremme adfærdsændringer hos den enkelte borger, som vil sikre en hurtigere og mere smidig omlægning af transport-, fødevarer- og energisystemer.

Fremover bør kommunerne også have bedre økonomiske incitamenter til at sige ja til vedvarende energi og at tage positivt imod elnettets motorveje, herunder også højspændingsmaster og transmissionsledninger i jorden.

Man bør introducere nye modeller for overskudsdeling eller føre selskabsskat fra VE-developere direkte tilbage til de kommuner, hvor den vedvarende energi opstilles. Det bliver mere attraktivt for kommuner og borgere at sige ja til mere VE i deres lokalområde, hvis de sikres ekstra midler til at investere i parker, daginstitutioner, skoler og sportshaller til gavn for lokalsamfundet. Det er bedre, at pengene går direkte til den

Adgangen til billig og ren energi er afgørende for EU's konkurrenceevne. I dag betaler europæiske virksomheder 2-3 gange mere for deres elektricitet end amerikanske virksomheder, og det er uholdbart.

enkelte kommune, der siger ja tak til mere vedvarende energi, frem for at omfordele pengene via en central grøn fond.

Det skal også være tilladt for kommuner at opstille solcelleanlæg med batterier og dele energien mellem alle offentlige bygninger uden at blive ramt af bøvlet med at oprette selvstændige energiselskaber. Regeringen bør sikre, at borgere og virksomheder, også på lavere spændingsniveauer i elnettet, kan etablere VE-fællesskaber. I EU's strategi for solenergi er der et mål om, at der inden 2025 er oprettet minimum ét VE-fællesskab i alle kommuner med over 10.000 indbyggere. Danmark bør forpligte sig til at leve op til dette krav, og regeringen bør etablere en taskforce, der understøtter etableringen af VE-fællesskaber i samarbejde med KL og private konsulenter.

14. Vedtag en arealstrategi med afsæt i planetære grænser.

Det er vigtigt at få lavet en langsigtet arealplanlægning, som udstikker rammerne for Danmarks samlede areal med afsæt i, at vi skal overholde de planetære grænser. Strategien skal sandsynliggøre, at vi kan leve op til EU's krav om både beskyttet og strengt beskyttet natur, biodiversitets-hensyn, mindre miljøforurening og samtidig give plads til udbygningen af vedvarende energi. Den skal bl.a. skabe plads til, at Danmark frem mod 2040 kan rejse mindst 320.000 hektar ny skov,

der kan sikre et langt større nettooptag af CO₂ og fremme biodiversiteten. Der skal også skabes ekstra plads til vedvarende energi, og her bør man også i større omfang udnytte de store tagarealer, parkeringspladser, motorvejs- og jernbanestrækninger, hvor man med fordel kan opstille solcelleanlæg.

I takt med at dyreholdet i landbruget nedsættes markant, og flere landbrugere går over til præcisionsfermentering og cellebaseret kødproduktion, kan store landbrugsarealer tages ud af drift for at skaffe ekstra plads til de nye skove, mere vild natur, beskyttelse af biodiversitet og udbygning med solceller og vindmøller.

I EU er det vigtigt, at man i løbet af den næste budgetperiode fra 2024-2029 reformerer den fælles landbrugspolitik, så landbrugsstøtten kanaliseres over til grøn omstilling af erhvervet, mere plantebaserede fødevarer og nye bioøkonomiske løsninger. En større del af EU-midlerne bør anvendes til at fremme biodiversitet og øget skovrejsning. Samtidig bør der stilles krav om, at alle nye VE-projekter tænker biodiversitet ind fra starten af, så de bidrager til at fremme naturpositive løsninger.

15. Gør grøn energipolitik til en strategisk mærkesag under det danske EU-formandskab i 2025.

EU's energipolitik bør behandles som storpolitik og geopolitik, for en hurtig udfasning af fossile brændsler kan i de næste femten år gøre EU helt uafhængig af fossil import fra autoritære magter, der ikke deler vores værdier. Det vil også styrke vores fælles sikkerhed, hvis vi selv kan producere den energi, vi forbruger, så EU-landene ikke hvert år skal sende flere hundrede milliarder euro til Rusland, Mellempøsten og andre autoritære magter. Adgangen til billig og sikker energi er afgørende for EU-landenes konkurrenceevne, men - som Mario Draghi rapporten om Europas fremtidige konkurrenceevne har vist - så betaler europæiske selskaber i dag 2-3 gange mere for elektricitet end deres amerikanske konkurrenter.¹ Det er ganske uholdbart, men det bedste svar på udfordringen er at sætte ekstra fart på den grønne omstilling af energiforsyningen.

Markedets aktører Markedets aktører har dog brug for et klar EU-roadmap for en udfasning af den fossile infrastruktur og alle fossile teknologier frem mod 2040.

Det danske EU-formandskab bør tage initiativ til en Green Deal 2.0 og via aktiv grøn industripolitik og fælles høje reguleringer kan EU blive katalysator for en ny bølge af offentlige og private investeringer i vedvarende energi og andre grønne teknologier og industrier. Det haster med at opbygge stærke industrielle økosystemer på tværs af EU-grænser-

ne, som kan klare sig i den skærpede globale konkurrence. Der er et meget snævert handlerum, men hvis ikke der handles på det i løbet af de næste par år, kan de europæiske virksomheder blive udkonkurreret af Kina indenfor kritiske grønne teknologier som bl.a. vindenergi, batterier, elektrolyse og e-fuels.

Det er en vigtig forudsætning for succes, at EU-landene og private aktører mangedobler investeringerne i de nye grønne løsninger, så europæiske virksomheder får en fair chance for at tage kappestriden op med både Kina og USA. Det er et must win battle, der får stor betydning for fremtidens velstand og arbejdspladser i EU-landene.

Omstillingen væk fra det fossile energisystem kræver også, at der opbygges en helt ny grøn infrastruktur. Det er en større transformationsproces. EU's elmotorveje på tværs af grænserne skal styrkes, og det skal være nemmere at handle med energi på tværs af grænserne i det indre marked.

Der er også brug for en EU accelerationsplan for en hurtigere elektrificering af transporten, varmesektoren og industrien, således der skabes et større indre marked for grøn strøm. Disse tiltag kan bidrage til at gøre det endnu mere attraktivt at investere i sol, vind, batterilagring og geotermi i takt med, at efterspørgslen efter grøn strøm vokser.

Der bør også laves en ny EU-handlingsplan for hurtigere udbredelse af varmepumper og geotermi, så EU-landene senest i 2035 har udfaset alle olie- og gasfyrt i varmeforsyningen. Atomkraft vil sikkert blive en del af EU's fremtidige energiforsyning, da flere medlemslande etablerer nye værker, men a-kraften er ikke konkurrencedygtig og bør spille en vigende rolle.

Det er vigtigt, at alle direkte og indirekte fossile subsidier udfases hurtigt, så de mest omkostnings-effektive grønne energiløsninger kan vinde i kappestriden. Al statsstøtte til afbrænding af fast træbiomasse bør udfases, og biomasseanlæg bør ikke længere have særbehandling, men betale en CO₂-afgift som alle andre værker, der udleder drivhusgasser.

De gratis kvotetilladelser bør udfases hurtigere i EU's reformerede kvotehandelssystemer, så kvotepriserne presses op, og det bliver mere attraktivt at investere i fossilfrie grønne teknologier. Alle indtægter fra den nye CBAM-grænseafgift, såvel som fra klimakvotehandlen, bør geninvesteres i at accelerere den grønne omstilling af det europæiske energisystem.

¹ *The future of European competitiveness, september 2024. Mario Draghi rapport til Europa-Kommissionen.*

"2/3 af al verdens primære energi går tabt, inden den forvandles til aktivt arbejde. Og 3/4. af energispildet stammer fra fossile brændsler."



Farvel til det fossile forbrændings- samfund

Den vigtigste valuta i enhver moderne økonomi er ikke de marginale gevinster ved et øget udbud af arbejdskraft. Det er adgangen til billig, tilstrækkelig energi. For det er grundforudsætningen for størsteparten af de produktivitetsstigninger, der er kilden til øget velstand og værditilvækst. Uden energi er der ingen bevægelse. Intet menneske kan arbejde eller være produktiv uden at spise tilstrækkelige mængder energi i sin daglige kost. På samme måde kan ingen maskine fungere uden energi. Eller som økonomiprofessoren Steve Keen har formuleret det: "Arbejdskraft uden energi er et lig, og en maskine uden energi er en skulptur."

Det globale energisystem er helt fundamentalt for det liv, vi lever. Den moderne fødevarereproduktion, som i dag sikrer borgerne adgang til enorme mængder af historisk set billige fødevarer, drives af maskiner, kemi og kunstgødning, og dermed af fossile brændsler. Lige så afhænger transporten, byggepladserne, kontorerne, internettet, telefonnettet, vand- og varmforsyningen af energi. I alle varer, vi køber og forbruger, er der indlejret energi. I dag er det meste af den fossile energi. Men den skader klimaet, for den står bag 90 pct. af de globale CO₂-udledninger, den forurener luften og den sprænger flere af de planetære grænser. (Se kapitel 4)

De behøver ikke at være sådan. Verdens regeringer har besluttet at dekarbonisere samfundet, nedfase de fossile brændsler og nedbringe udledningerne af drivhusgasser. Det er afgørende, at det lykkes. Ikke kun for klimaets og naturens skyld. Det er det også for økonomiens skyld. For i det fossile energisystem

spildes to tredjedele af al energi, inden den er nyttiggjort af virksomheder og husholdninger. Hele den måde, vi forbruger og producerer energi på, skal ændres i løbet af få år.

Heldigvis er ny grøn energirevolution undervejs på verdensmarkedet, der måske kan sende olie, gas og kul på historiens losseplads hurtigere, end du forestiller dig. Men det er en ekstremt krævende og kompleks opgave at omstille hele det nuværende fossile energisystem, der er opbygget over 200 år. Systemet er sammensat af milliarder af enheder og maskiner, der fra udvinding, til transport over verdenshavene og i rørledninger, til raffinering, videreførelse og afbrænding i kraftværker og forbrændingsmotorer. Alle disse dele af værdikæden er hårde fysiske enheder, der skal udskiftes. Den samlede længde af verdens olie- og gasledninger er omkring to millioner kilometer, hvilket svarer til at rejse til Månen og tilbage til Jorden tre gange.

Siden industrisamfundets fremvækst i 1800-tallet har adgangen til fossile brændsler været drivende for den økonomiske udvikling. Ved indgangen til 1800-tallet stod biomasse for 98 pct. af den energi, som menneskeheden brugte, og i Danmark havde vi i de foregående århundreder brændt så meget træ af, at kun 2-3 pct. af landets areal var dækket af skov. Men så kom fossilerne, og de bredte sig gradvist fra sektor til sektor.

Vi gik fra heste til biler og lastbiler og siden fly og kæmpe containerskibe. Vi fik energi nok til at bygge større og større højhuse og siden skyskrabere, broer over Storebælt, Øresund og andre af verdens stræder. Og mennesket nåede helt til månen. Hvad der engang syntes umuligt blev efterhånden muligt.

Det store ekstra energiinput fra først kul og siden olie og gas har givet mennesket superkræfter til at opbygge et moderne samfund med historisk høj velstand. Energisystemet gør det muligt hvert år at forarbejde omkring syv milliarder tons industrielle materialer som stål, cement, plastik, kunstgødning og meget mere¹. Der er sket en historisk stor acceleration, og de eksponentielle vækstkurver kan tegnes fra område til område.

De fossile brændsler har været en hovedmotor bag produktivitetsvæksten på en så gennemgribende måde, at selv mange førende økonomer har haft svært ved at begribe deres betydning.

I Europa er det samlede energiforbrug – målt i kilokalorier (kcal) pr. indbygger – steget med cirka 7 gange siden år 1800. Nu bruger hver indbygger i hele

Europa i gennemsnit så meget fossil energi, at det - omregnet til energiindholdet i olie - svarer til mere end 26 tønder olie om år. En olietønde rummer 157 liter olie. En meget stor del forbrændes i transportsystemet, og meget energi er indlejret i de industrielt fremstillede produkter, vi forbruger. Landbruget og fødevarersektoren sluger også enorme mængder af fossil energi. I en gennemsnitlig EU-borgers fødevarer er der f.eks. så meget indlejret fossil energi, at det svarer til, at hver borger drikker 655 liter diesellole om året.²

To tredjedel af bruttoenergiforbruget i EU kommer stadig fra olie, gas og kul. Under energikrisen i 2022 nåede EU-landenes import af fossile brændsler helt op over 690 mia. euro, og i 2023 lå den fossile import på 456 mia. euro. Bag disse tal afsløres en dyb afhængighed af autoritære regimer, hvis værdier vi ikke deler i Europa. Vores økonomi er meget udsat ift. geopolitiske konflikter og krige, der involverer olie- og gasproducerende lande, og som enten kan føre til forsyningskriser eller store prissvingninger. Hvis vi omvendt selv kunne producere vores egen energi i form af vedvarende energi, ville sårbarheden reduceres markant. I givet fald skulle vi kun importere råstoffer inden opstillingen af solceller, vindturbiner og varmepumper, men vi ville ikke hver dag, måned og år være afhængige af konstante leverancer af olie, gas og kul fra tredje lande.

I elforsyningen er der dog heldigvis ved at indtræffe et vendepunkt. I første halvdel af 2024 var det første gang nogensinde i EU, at rene vedvarende energikilder leverede mere grøn strøm til elnettet end de fossile brændsler, og det er lysende eksempel på den nye energirevolution, der er ved at bryde frem. Men der er stadig et stykke vej.

DANMARK ER MERE FOSSIL END GRØN

I Danmark har vi ofte en opfattelse af os selv som en grøn frontløberation. Men i virkeligheden er vi stadig alt overvejende et fossilt forbrændingssamfund. Danmarks nationale bruttoenergiforbrug udgjorde 692 petajoule (PJ) i 2023, og cirka 53 pct. er fossilt, viser [Energistyrelsens tal](#). En petajoule dækker cirka 165.000 danskeres elforbrug i deres hjem, men det er kun en mindre del af vores energiforbrug, der er elektrisk. I Danmark snakker vi meget om, at hele vores elforbrug i 2030 måske vil bestå af grøn strøm fra vindmøller og solceller, og det er positivt, hvis vi kan blive et af de første lande i verden, der lykkes med det.

I 2023 var det samlede elforbrug i Danmark 36 TWh, og det svarer til knap en femtedel af Danmarks bruttoenergiforbrug, der omregnet fra petajoule var 192 TWh.³ Men det er ikke nok at gøre denne del af energiforbruget grøn i 2030. Vi skal også gøre de sidste firefemtedele grøn.

Kigger man i Energistyrelsens 2022-statistik, kan man se, at den vedvarende energi står bag 39 pct. af vores samlede bruttoenergiforbrug inkl. bunkring til international sø- og luftfart. Men blot 13 pct. af bruttoenergiforbruget stammer fra helt rene kilder som sol- og vindenergi, varmepumper og geotermi, fordi to tredjedel af vores såkaldt vedvarende energi kommer fra afbrænding af træbiomasse og biogas. Det er endnu en alvorlig skyggeside i forbrændingssamfundet.

Danmark har nemlig en straksudledning på over 20 mio. ton CO₂e om året på grund af afbrænding af biomasse - og heraf stammer ca. tre fjerdedele fra afbrænding af træ. På kort sigt er det udledninger af drivhusgasser, der er med til at forværre klimakrisen, fordi der endnu ikke er vokset ny skov op til at suge de mange megatons CO₂ ud af atmosfæren.

Hvis klimapåvirkningen fra træ-energi betragtes over en længere årrække, så kan den tidsvægtede klimapåvirkning fra dansk træ-energiforbrug beregnes til op mod 4 mio. ton CO₂e senere år⁴. Det skyldes, at der over tid vokser ny skov op, eller affaldstræ alternativt ville rådne.⁵ Selv med denne korrektion har træ-energi dog stadig en klimapåvirkning svarende til ca. en tredjedel af kul og godt halvdelen af naturgas, hvorfor det er bedst for klimaet at erstatte den med rene vedvarende energikilder som sol og vind kombineret med varmepumper, varmelagre og batterier.

TÆL DET HELE MED

Det er vigtigt at forstå, hvad der tælles med, når vi taler om Danmarks energiforbrug, for ofte overses eller udelades vigtige dele af det komplekse system. Danmark males tit grønnere, end det rent faktisk er. Hvis al international transport - inkl. den internationale transport drevet af danske virksomheder gennem længere tid (mere end ét år) - medregnes, har den danske økonomi som helhed et endnu større bruttoenergiforbrug på hele 1170 petajoule. Set under denne betragtningstype er hele 68 pct. af Danmarks samlede energiforbrug fossilt - og det tal har været ret stabilt i de sidste tyve år. Under denne betragtningstype er kun 13 pct. af energiforbruget elektrificeret. Selv om vi har fået mere vedvarende energi, er det fossile forbrug øget med godt 63 pct. siden 1968.

Det skal understreges, at resten af denne analyse ikke medtager energi til international sø- og luftfart, som tankes *udenfor* Danmark, fordi en stor del af denne transport vedrører varer, som aldrig kommer til Danmark.

Samlet brænder dansk økonomi over 120 mio. tønder olie af om året, hvis man medregner den bunkrede energi - dvs. brændstof, der i Danmark fyldes på fly, skibe og køretøjer, der skal til udlandet (den såkaldte bunkring).⁶ Transportsektoren sluger

broderparten af olieprodukterne. Selv om salget af nye elbiler til danskerne nu har overhalet salget af nye fossile biler, er der i dag omkring 2,5 mio. fossile biler og lastbiler på de danske veje, og vi har masser af andre maskiner drevet af fossil energi. Hvis ikke der lægges en klar plan for deres udfasning og en fuld elektrificering af vejtransporten, non-road maskiner og andre forbrændingsmotorer, vil Danmark fortsat være dybt afhængig af fossile brændsler i de næste årtier. Og her har vi stadig lang vej igen.

I EU har man opstillet så skrappe emissionskrav, at salget af nye fossile personbiler reelt får en slutdato i 2035. Men da bilerne ofte kører 14-15 år på vejene, kan der stadig være mange fossile biler på vejene i 2040'erne, hvis udfasningen ikke fremskyndes betydeligt. Forsat salg af fossile biler øger vores klimaudfordring betragteligt.

Et vigtigt svar på udfordringen er at sætte turbo på elektrificeringen af transporten og resten af samfundet. Men her kniber det også. Det meste af Danmarks bruttoenergiforbrug er stadig fossilt, og over 280.000 danske husstande har gasfyr, selv om der findes gode og veludviklede alternativer i fjernvarmen eller varmepumper.

I industrien er det kun 38 pct. af produktionen, der er elektrificeret, selv om forskningsanalyser har vist, at 78 pct. af industrien kan elektrificeres med de kendte teknologier, og måske op til 99 pct. kan elektrificeres med de teknologier, der er under udvikling.⁷ Ifølge en analyse for Energistyrelsen vurderes det, at hele 92 pct. af de danske industrivirksomheders samlede energiforbrug kan elektrificeres direkte.⁸

Øget elektrificering, der drives frem af klare politiske krav og økonomiske incitamenter, er en vigtig forudsætning for at gøre det mere økonomisk attraktivt at opstille mere sol- og vindenergi. Jo større efterspørgsel, der skabes efter mere grøn strøm, jo bedre bliver developernes business case også for at investere i mere vedvarende energi. Det er ikke nok blot at fokusere på udbudssiden – f.eks. det politiske mål om at firedoble sol og vind frem mod 2030 – for det er mindst lige så vigtigt at sætte ekstra fart på efterspørgselssiden. I Danmark er der ikke gjort nok på dette punkt.

Der er også en strukturel barriere i selve elnettet. Mange danske transformerstationer mangler stadig ledig kapacitet. På grund af flere års underinvesteringer i elnettet, er mange projekter med sol- og vindenergi er blevet forsinket og sat på hold, fordi nettet ikke kan bære den ekstra energiproduktion. Energinet vil dog investere 41 mia. kr. i at forstærke nettet i perioden fra 2023-2026, og frem mod 2030 er planen at etablere op imod 2700 km elledninger.⁹ I fremtiden skal nettet også blive bedre til at håndtere

“Arbejdskraft uden energi er et lig og en maskine uden energi er en skulptur”

tidsmæssige ubalancer mellem forbrug og produktion af el, fordi sol- og vindproduktionen svinger mere og ikke altid falder sammen med forbruget af el. Det er en krævende og kompleks opgave at transformere hele det danske energisystem væk fra de fossile brændsler, og man bør ikke undervurdere udfordringerne. Det er afgørende, hvordan denne opgave tackles. Meget er på spil.

ET ENERGIBOOST PÅ DEN HELT STORE KLINGE

120 mio. tønder olie er et ekstra energiboost til dansk økonomi, der er med til at øge produktiviteten i samfundet. Omregnes energien i denne olie til et menneskes arbejde, svarer det til cirka til, at 540 mio. mennesker arbejder dag og nat, 24 timer i døgnet i et helt år.¹⁰ Sagt på en anden måde, presses der mere arbejdskraft ud af olien, end det samlede antal indbyggere i alle EU-27 lande og Storbritannien til sammen.

Det kan måske være svært at fatte, men uden tilstrækkelige mængder af brugbar og billig energi, ville det danske velfærdssamfund næppe overleve. Hvilken energi det er, er ikke nødvendigvis afgørende. Det behøver ikke at være fossil energi, som det har været i det sidste århundrede. Det kunne også blive vedvarende energi, der får hjulene til at snurre i samfundet. Det forudsætter dog, at der laves en robust og realistisk roadmap for, hvordan vi kan fjerne de sidste fossiler i den danske energiforsyning og udskifte det med alternative energikilder, der er rene og vedvarende.

Det er vigtigt, at transformationen sker på en klog måde, så virksomheder og husholdninger stadig har adgang til tilstrækkelige mængder energi – også når den går fra sort til grøn.

Her er det ikke nok at gøre strømmen grøn i elnettet. Det er også vigtigt at træffe et klart politisk valg om – gennem reguleringer og økonomiske incitamenter – at få udfaset alle fossile brændsler i transporten, i

industrien, i landbruget og i varmeforsyningen. Det er krævende opgave, for det tager tid at opstille nok solceller, vindmøller, varmepumper, jordvarmeanlæg, optimere alle energisystemer og udskifte alle fossilbiler med elbiler. Den dag det lykkes, vil det føre til fundamentale ændringer i vores økonomi, og i vores måde at producere og forbruge på.

Man kan ikke bare overlade opgaven til markedet. Politikere kan gennem kloge reguleringer sikre en hurtigere elektrificering af transporten og andre sektorer, og derigennem kan de også være med til at skabe en større og stabil efterspørgsel efter grøn strøm, hvilket kan styrke business casen for dem, der investerer i solceller og vindturbiner.

Indtil nu har der rent politisk været meget stort fokus på at sikre en firedobling med sol- og vindenergi på land frem mod 2030, men man har derimod ikke gjort så meget for at adressere de strukturelle udfordringer på efterspørgselssiden. Hvis man skal accelerere den grønne omstilling af energisystemet, er det afgørende at sikre en bedre sammenhæng mellem udbud og efterspørgsel.

Hvis energiniveauet falder, vil det efter alt at dømme få dramatiske konsekvenser for hele økonomien, og den måde vi lever på. Vi burde vide det. Efter energikriserne i 1970'erne fulgte en stor produktivitetsskive. Dengang talte man om *"the great productivity slowdown"*, og mange regeringer tabte undervejs magten som følge af deres afmægtighed midt i den stagflation, der skyllede ind over Europas økonomier med både økonomisk stagnation og høj inflation på en og samme tid. Det var hverken første eller sidste gang.

Da Ruslands præsident Putin i februar 2022 invaderede Ukraine og udløste en ny energikrise sendte det straks voldsomme rystelser igennem de europæiske samfund, der på det tidspunkt var stærkt afhængige af billig russisk olie og gas. Mens EU-landene lukkede for de russiske gashaner og indførte embargoer, kæmpede regeringerne for at få flydende LNG-gas sejlet ind fra USA, Qatar og andre lande. Der blev sparet på energien i husstande, virksomheder og offentlige institutioner. Mange EU-lande skruede voldsomt op for udbygningen med sol- og vindenergi, men det tager tid at få skruet øget forsyningen af den grønne strøm. Og i reglen tager det alt for lang tid, fordi der er lange ventetider på at få tilladelserne igennem og godkendt de nye energiprojekter. Langsomheden har en høj pris. Også på forsyningssikkerheden.

De nye energichok gav os en opvågning til en brutal realitet. Ingen moderne økonomier kan fungere uden stabile og sikre forsyningskæder med energi. Energimæssig *resiliens* – modstandsdygtighed – og adgangen til billig energi er en fundamental forudsætning for vores samfunds sammenhængskraft,

"I en gennemsnitlig EU-borgers fødevarer er der så meget fossil energi indlejret, at det svarer til, at hver borger drikker 655 liter dieselolie om året"

sikkerhed og økonomiske styrke. Kan vi ikke skaffe os adgang til tilstrækkelig energi i fremtiden, vil nationens konkurrencekraft ligge i ruiner. Men hvis vi omvendt ikke frigør os hurtigt fra de fossile brændsler, kigger vi ind i en fremtid med voldsomme klimaforandringer, der vil udløse vilde vejrlig, dramatiske naturødelæggelser, som kan sende hundreder af millioner af mennesker på flugt væk fra tørke og ekstreme temperaturer. (Se kapitel 4) Det er en dobbeltbundet opgave at løse disse udfordringer.

FOSSILT FORBRUG STIGER FORTSAT

Den globale udledning af drivhusgasser har aldrig været højere, og de fossile brændsler står bag knap 37 af de 40,9 gigatons CO₂, som verden udleder inklusiv udledninger fra skovrydning mv. Selv om verdens klimaforskere advarer om, at det haster med at udfase fossilerne, satte verdens forbrug af olie, gas og kul en ny historisk rekord i 2023 med 504.830 petajoule, og 81,5 pct. af verdens primære energiforbrug er i dag fossilt.¹¹ Siden årtusindskiftet er tre fjerdedele af det ekstra energiforbrug blevet forsynet af fossiler.

Mængden af sol- og vindenergi er godt nok steget med over 100 gange siden år 2000, fordi den vedvarende energi er blevet konkurrencedygtig på pris, men sol- og vindenergi leverer stadig kun 6 pct. af verdens primære energiforbrug.¹² Vandkraft leverer 6,4 pct. Og atomkraft står bag kun 3,7 pct. og dens andel er tilmed skrumpet i de sidste årtier, fordi den fra årti til årti er blevet dyrere, og på livslange omkostninger heller ikke kan konkurrere med sol- og vindenergi.

Selv om der findes reelle og gennemprøvede alternativer til de fossile brændsler, har vi endnu ikke ramt det sociale og økonomiske tipping point, hvor

den fossile æra bryder sammen, og de rene og alternative energikilder definitivt skubber de fossile brændsler ud. Men det kan ske hurtigere, end vi forestiller os. Det internationale energiagentur, IEA, regner nu med, at efterspørgslen efter fossile brændsler vil peake i dette årti. "Omstillingen til ren energi sker over hele verden og er umulig at stoppe. Det er ikke et spørgsmål om 'hvis', men om hvor hurtigt – og jo hurtigere desto bedre for os alle sammen," siger IEA-chefen, Fatih Birol.¹³

Det er muligt via målrettede investeringer, en aktiv industripolitik og modige politiske beslutninger at gøre os helt fri af de fossile brændsler og bygge et 100 pct. rent og bæredygtigt energisystem. Men det er som at vende en supertanker. Den fossile industri udøver stor magt og indflydelse på de politiske beslutningstagere, og den laver mis- og disinformationskampagner for at forsinke omstillingen.

Nogle lande holder stadig fast den gamle infrastruktur og fossile teknologier, som man allerede har investeret i. Det skyldes i høj grad, at de nye energiinvesteringer ofte skal konkurrere med etablerede energiteknologier, hvor kapitalomkostningerne allerede er afholdt: Investerings- og driftsomkostninger til en ny el-drevet varmepumpe skal fx kunne konkurrere med brændselsomkostningerne til et eksisterende gasfyr. Der er også nedgroede vaner og forestillinger, som borgere, virksomheder og regerin-

ger har svært ved at opgive. Men på et tidspunkt indtræffer det sociale tippunkt, og vi ved fra historien, at så kan det gå meget hurtigt med omstillingen. Der er nemlig stadig mere evidens for, at det bliver billigere at gå over til et 100 pct. elektrificeret energisystem, der drives af ren grøn strøm, end at klamre sig til et system, der brænder olie, gas, kul og fast træbiomasse, forurener luften og skader klimaet. Især hvis man medregner de store negative miljøeffekter, som de fossile brændsler har, og som de ikke betaler for i dag.

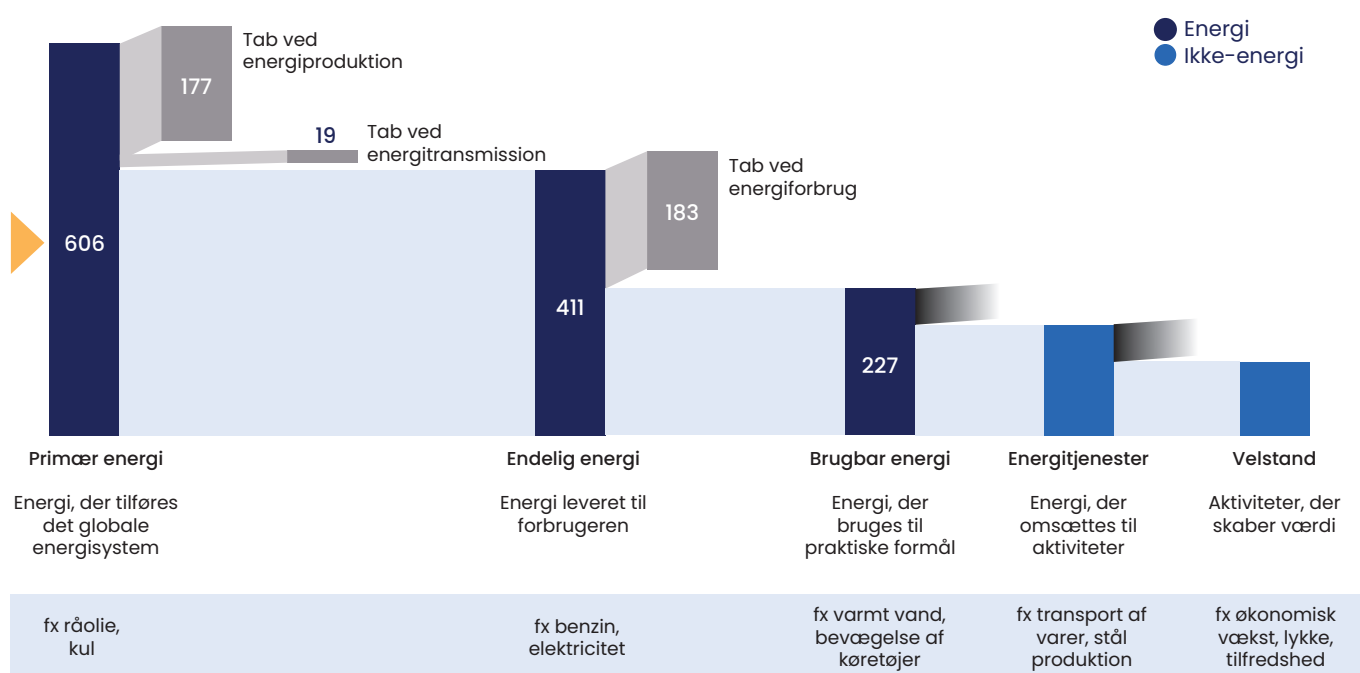
Det fossile energisystem er endt som et dysfunktionelt system, der truer klimaet og de kommende generationers livsbetingelser. Det har også så meget spild i alle dele af værdikæden, at det ikke længere er konkurrencedygtigt og er blevet økonomisk irrationelt i en skala, så enhver finansministers bestræbelser på at øge arbejdsudbuddet minder om et teselskab på toppen af Titanic.

FOSSILT SPILD

Selv om det fossile energisystem historisk set har spillet en meget vigtig rolle bag velstandsudviklingen, er det i virkeligheden meget ineffektivt. Energispildet er enormt. To tredjedel af al verdens primære energi går tabt, inden den forvandles til aktivt arbejde og omsættes til energiserviceydelser, der tilfører værdi til samfundet. Se figur 1.

FIGUR 1. ENERGISYSTEMERNES TAB FRA PRIMÆR KILDE TIL FORBRUG, 2019

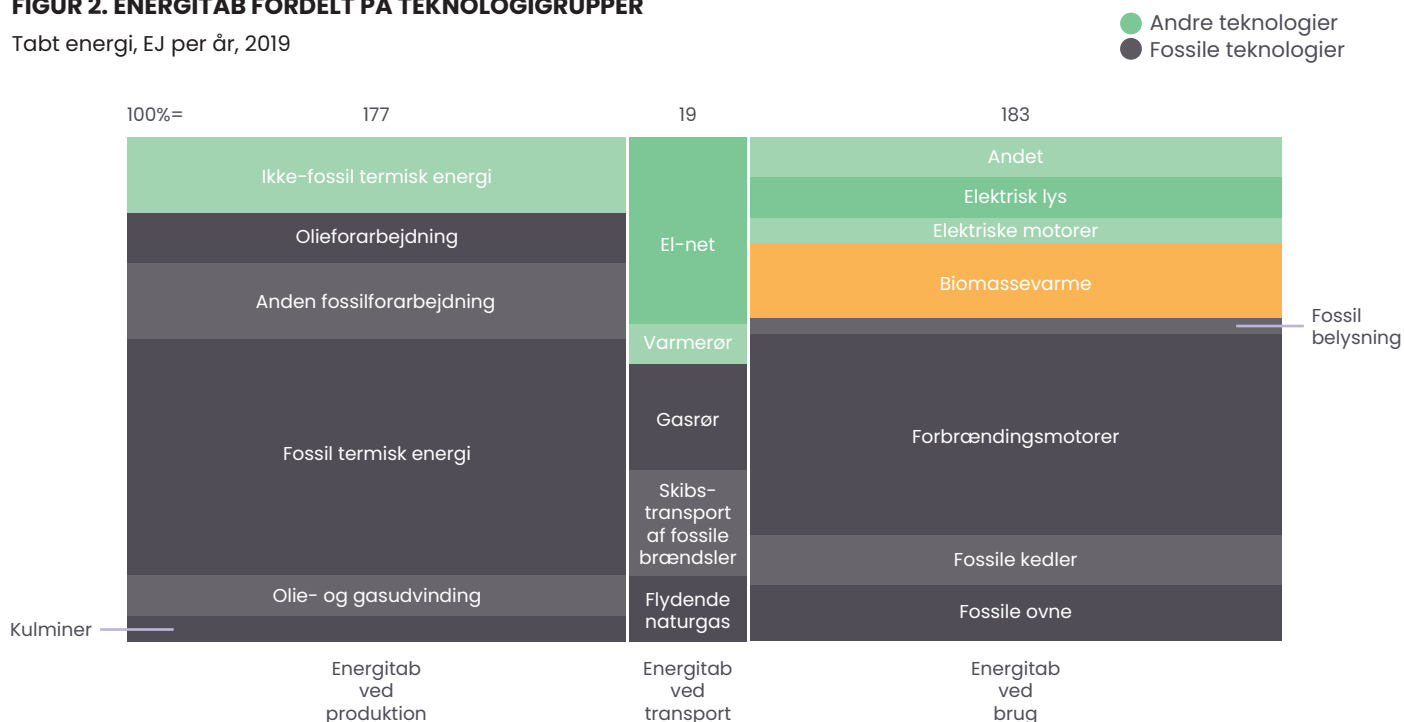
Globalt energiforbrug og tab, (EJ) per år, 2019



Kilde: IEA, RMI analysis

FIGUR 2. ENERGITAB FORDELT PÅ TEKNOLOGIGRUPPER

Tabt energi, EJ per år, 2019



Kilde: IEA, RMI analysis

Den fossile energi står bag 75 pct. af dette energispild, fordi der tabes energi under udvindingen, under transporten, i raffinaderierne, i maskinernes forbrænding og i konverteringen af fossile molekyler til elektroner og varme. Se figur 2.

Nogle taler bekymret om risikoen for energispild ved overførsel af elektricitet over store afstande via transmissions- og distributionsnettet. Nogle bruger dette som et argument for enten at holde fast i det fossile system eller at opbygge en ny infrastruktur med brintrør. Men energitab på overførsel af el over selv lange afstande – mellem 8-15 pct. afhængig af design og ledningstyper – er for intet at regne i forhold til det langt større spild i det fossile system. En tredjedel af de fossile brændsler energi spildes under udvinding, raffinering og transport, *inden* de overhovedet når ud til forbrugerne. I dag udgør olie, gas og kul hele 40 pct. af lasten i de skibe, som sejler på verdenshavene, og disse skibe drives stadig frem af fossile brændsler.

Når olien så har været forbi raffinaderierne og er kørt ud til benzinstationerne, spildes endnu mere hos forbrugerne, fordi forbrændingsmotorer ikke er ret effektive. I en benzin- eller diesebil udnytter kun 25-40 pct. af energien til at drive bilen frem, mens elbiler er op til 3-4 gange så effektive. Varmepumper er 3-5 gange så energieffektive som gasfyr eller kraftvarmeverker, der laver varme ved at brænde fast træbiomasse af. Rent energioekonomisk er der

ikke længere tvivl om, hvad der er bedst og på sigt også billigst, når gamle energiteknologier skal udskiftes.

Globalt set spildes der årligt energi for op imod 4.600 mia. dollar eller omkring 5 pct. af bruttonationalproduktet, fordi det er virkeligheden i det fossile energisystem. Det viser beregninger foretaget af den amerikanske tænketænk, RMI. Det er et svimlende beløb, men så meget spildes af den fossile energi, inden den bidrager til reel værdiskabelse i samfundet – før personbiler og lastbiler kører, kranerne løfter tunge elementer på byggepladserne, skibe sejler, folks radiatorer varmes op eller før vores beskidte tøj vaskes i vaskemaskinen.

Men heldigvis findes der en teknologisk og gennemprøvet alternativ løsning, der kan udføre de fleste af de disse arbejdsopgaver langt mere energioekonomisk og uden den sundhedsskadelige støj og luftforurening – og det er elektricitet.

I stedet for at være optaget af, hvor meget primær energi samfundet har til rådighed, og hvordan vi kan sikre nye forsyninger af olie og gas fra autoritære regimer i udlandet, bør vi snarere fokusere på at elektrificere mest mulig og bruge energien så smart som muligt, så slutforbruget kan drives direkte af grøn strøm uden det store spild og de høje konverteringstab, der knytter sig både til fossile brændsler og til afbrænding af fast træbiomasse.

Nick Eyre, der er professor emeritus på Oxford University, har beregnet, at vi i et fuldt elektrificeret system kan få den samme mængde energiserviceydelser og spare 40 pct. af det energiinput, der ellers føres ind i det fossile system. Hans beregninger og de nye tal fra RMI er et wake-up call til verdens beslutningstagere.

Regeringernes finansministre og virksomhedernes CFO' s, der ofte bruger meget tid på at finde omkostningseffektive løsninger, kigger her ind i et grønt ocean, hvor der er mulighed for at høste meget store økonomiske gevinster.

I realiteten kan der hives meget mere ekstra produktivitet ud af at transformere energisystemet og gå væk fra de ineffektive fossiler, end at presse citronen lidt mere i forhold til den menneskelige arbejdskraft. Mens mange medarbejdere på det moderne arbejdsmarked i stigende grad rammes af stress, psykologiske kriser og udbrændthed - fordi arbejdstempoet og forandringshastigheden er accelereret kraftigt i de seneste årtier - så har regeringerne overset, at der ligger en stor produktivtetsgevinst skjult i samfundet, der let kan høstes, hvis man udfaser de ineffektive fossile brændsler.

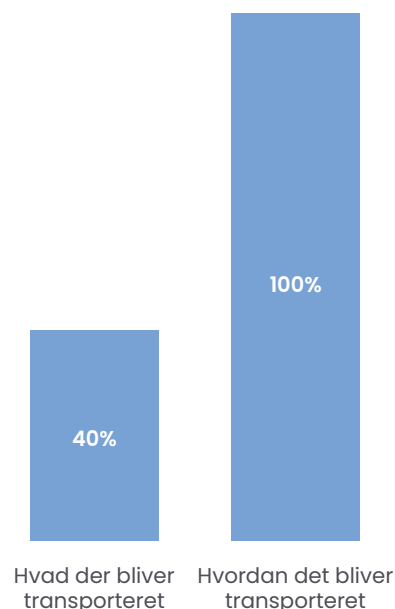
Skal samfundet re-energizes – som det hedder på moderne dansk – bør stats-, finans-, økonomi- og erhvervsministrene interessere sig meget mere for energipolitikken.

ØGET HASTIGHED KAN SPARE PENGE PÅ DEN LANGE BANE

Det hedder sig ofte, at den grønne omstilling bliver dyr. Og sådan var det også dengang, at staterne måtte holde hånden under de første vindmølleparker og solceller. Men sådan er det ikke længere. Nogle skræmmes væk af, at man er nødt til at foretage store up front investeringer i solcelleanlæg, vindmølleparker, batterier og andre energilagere, industrielle varmepumper, ny infrastruktur. Og oveni føler de måske, at det er bøvlet at ændre de gamle måder at gøre tingene på og tage de gamle fossile anlæg ud af drift. Men fordelen er - som det også er med energieffektiviseringer - at pengene hurtigt tjener sig hjem igen. Selv om kapitalomkostningerne ved overgangen kan være høje, er de marginale driftsomkostninger meget små. Man behøver ikke at købe ny olie, gas eller olie

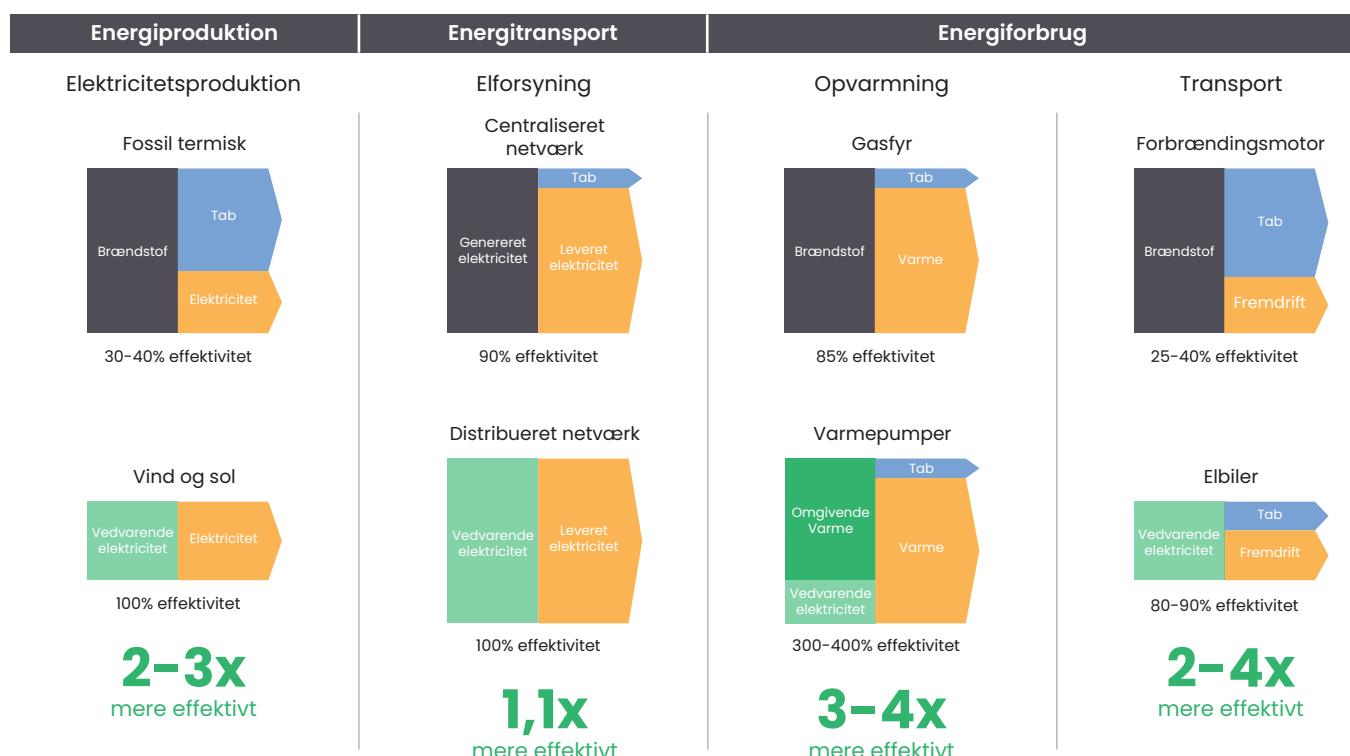
FIGUR 3. GLOBAL SØFART HAR ET STORT PROBLEM MED FOSSILE BRÆNDSTOFFER

40% af alle produkter, der transporteres af global søfart, er fossile brændstoffer: kul, olie, gas (LNG). 100% af den internationale søfart er afhængig af skibe drevet af fossile brændstoffer.



Kilde: UNCTAD (2019), Degnarain (2020)

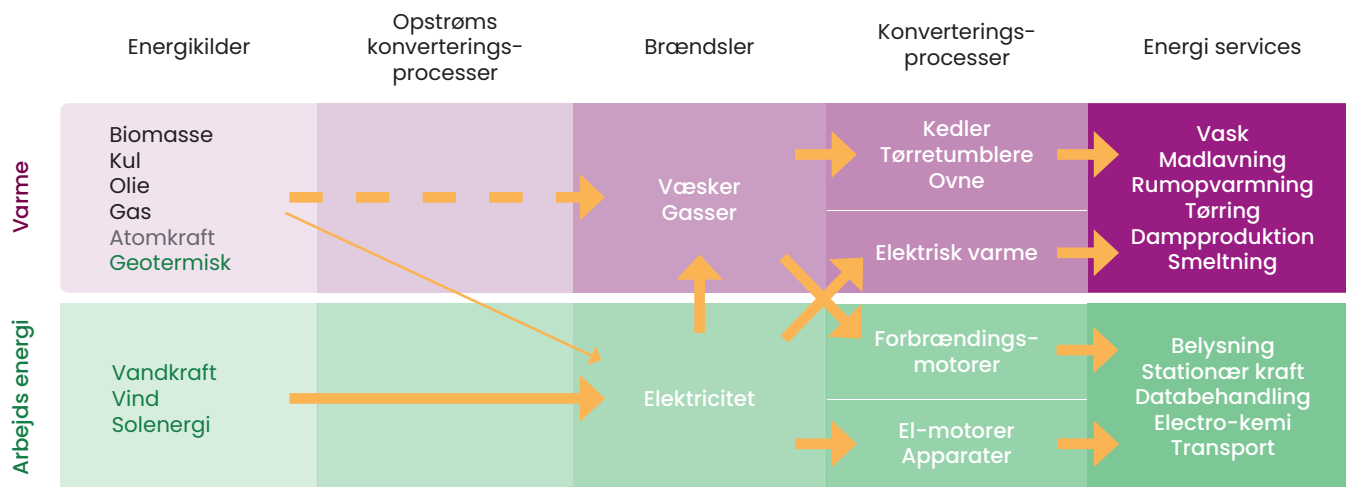
FIGUR 4. ENERGIEFFEKTIVITET. DE STORE FORSKELLE.



Kilde: RMI, 2024.

FIGUR 5. FRA BRUG AF VARME TIL BRUG AF ARBEJDSENERGI: REKONCEPTUALISERING AF OVERGANGEN TIL ET NULEMISSIONS-ENERGISYSTEM

Varme og arbejdsenergi i et vedvarende el-system



I energisystem uden olie, kul og gas spares op imod 40 pct. af energiforbruget, fordi man elektrificerer økonomien.

Kilde: Nick Eyre, *From using heat to using work; Energy Efficiency*, 14, (77), 2021

hvert år, men kan selv producere sin egen energi. Udgifterne til vedligehold er også langt lavere end til forbrændingssamfundets maskiner.

Et stort komparativ studie, der er baseret på mere end 700 forskningsartikler, fastslår, at omlægningen til vedvarende energi på globalt plan i dag kan betale sig økonomisk. En af de primære årsager til dette er, at priserne på sol og vind er faldet så meget i de seneste år (til trods for stigninger i 2021-22), og de er blevet økonomiske konkurrencedygtige energikilder i forhold olie og gas.

Den fossile energimængde, som vi får ud af hver energienhed, der investeres – dvs. Energy Return on Energy Invested (EROI) - er faldet i de sidste årtier, og de kan heller ikke længere konkurrere med den vedvarende energi.¹⁴ I gennemsnit leverer vedvarende energisystemer mere brugbar nettoenergi pr. enhed for hver investeringskrone, end hvis man investerer det samme beløb i fossile brændsler. Og det selv, hvis man tager højde for, at der skal ekstra backup til den fluktuerende vedvarende energi.¹⁵

Ifølge tænketanken RethinkX, som har regnet på Tysklands omstilling til et fuldt bæredygtigt energisystem, ser kombinationen af sol, vind og batterier ligefrem ud til at blive 70 pct. billigere end konventionel energi i løbet af det næste årti.

Et større forskningsstudie, der har analyseret teknologiudviklingen og forskellige scenarier, viser desuden, at en hurtig transition - til rene vedvarende

energikilder, elektrificering af næsten alt, kombineret med batterilagring, sektorkobling og PTX e-fuels til de sidste hard-to-abate områder - er langt billigere end både en langsom omstilling med gradvis udfasning af fossilerne og business as usual.¹⁶ Den akkumulerede gevinst kan blive mellem 5.000-12.000 mia. dollar frem mod 2070 – afhængig af renteudvikling mv. Se figur 6.

I 2050 kan man spare 514 mia. dollar på den årlige globale energiregning, hvis man har lavet en hurtig grøn omstilling frem for at holde fast i business as usual. I dette regnestykke har man endda ikke engang medtaget de store positive sidegevinster, som følger af klimaforbedringer, ren luft, lavere sundhedsomkostninger mv. Alene i EU27 er de fossile brændsler og afbrænding af biomasse hovedårsager til en luftforurening, der hvert år koster omkring 250.000 tidlige dødsfald.¹⁷

En gruppe forskere på Stanford universitetet har vist, at det er teknisk, økonomisk og organisatorisk muligt indenfor en kortere årrække at omstille hele EU's energiforsyning til rene vedvarende energikilder. Deres beregninger viser, at den grønne omstilling samlet set vil kræve 57 pct. mindre energi, og de private omkostninger vil være 61 pct. lavere frem til 2050, end hvis man holder fast i de fossile brændsler. Samtidig skabes 28 mio. nye langtidsholdbare fuldtidsjob.¹⁸ Andre forskningsstudier har vist, at investeringer i grøn infrastruktur, vedvarende energi og energieffektiviseringer giver næsten tre så mange job, som investeringer i de fossile industrier.¹⁹

Det vil også være sikrere for det finansielle system at sætte turbo på den grønne omstilling.

Den Europæiske Centralbank har i 2023 lavet en grundig stresstest af omstillingen til et nettonul samfund, og den viser, at det er billigere og rummer færre økonomiske risici at lave en accelereret grøn omstilling i Europa end at udskyde den til senere eller at gå forsigtigt frem. En hurtig omstilling med investeringer i elektrificering, i sol- og vindenergi og i energieffektiviseringer "vil give betydelige gevinster for virksomheder, husholdninger og det finansielle system" sammenlignet med en forsigtig og langsom omstilling, hvor man udskyder de afgørende beslutninger til sent.²⁰

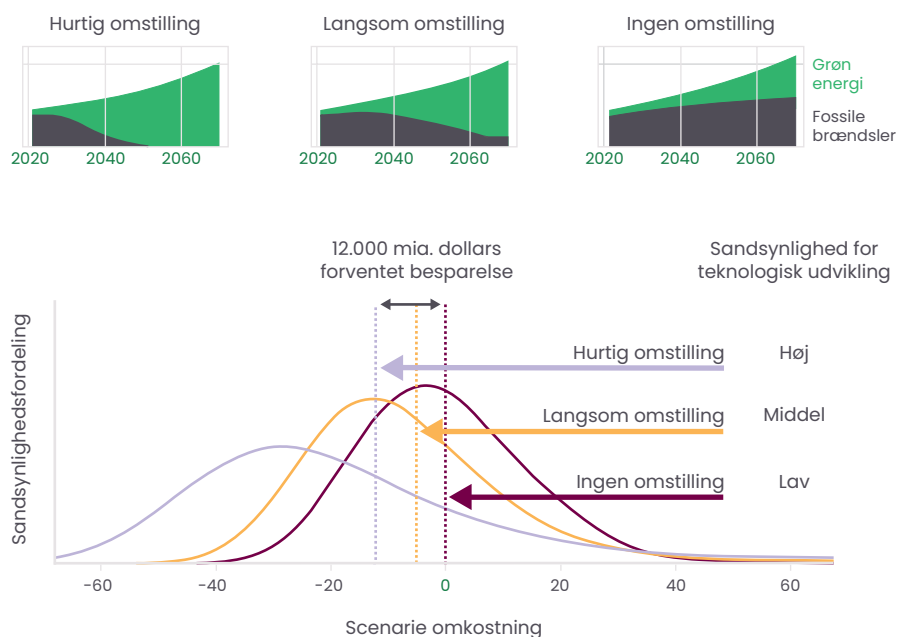
DEN STORE KLIMAREGNING

Risikoen og omkostningen ved ikke at handle i tide vokser år for år.

Økonomerne er stadig uenige om den præcise regning, da der er mange faktorer og feedback loops på spil. Nogle økonomer, som bl.a. nobelprisøkonomen William Nordhaus, har hævdet, at det kun vil koste omkring 2,1 pct. af det globale BNP, hvis den globale gennemsnitstemperatur stiger med 3 grader over den industrielle tidsalder, som der er overvejende sandsynlighed for med den førte politik. Men andre og nyere **forskningsstudier** taler om en regning på 5-10 pct. af BNP.

Økonomer fra Harvard Universitet og Northwestern University vurderer endda i en analyse offentliggjort i 2024, at den ekstra regning måske kan blive op imod **12 pct. af bruttonationalproduktet** for hver grad, den globale temperatur stiger.²¹ Hvis temperaturerne i år 2100 ligger 3 grader over det førindustrielle niveau, kan produktion, kapital og forbrug til den tid være skrumpet med 47 pct. Ifølge denne analyse vil det samlede

FIGUR 6. TRE OMSTILLINGSSCENARIER FOR ENERGIEN



Beslutninger om, hvordan og hvornår man skal afkarbonisere det globale energisystem, afhænger i høj grad af de forventede omkostninger. Her er der udviklet empirisk valide sandsynlighedsprognoser for energiteknologiske omkostninger, som bruges til at estimere fremtidige energisystemers udgifter i tre forskellige scenarier. Sammenlignet med fortsat brug af et fossildrevet energisystem vil en hurtig grøn omstilling resultere i besparelser på milliarder – selv uden at tage klimaskader i betragtning.

Kilde: Way et al., *Joule* 6, 2057–2082, 21. September 2022.

velfærdstab svare til Den Store Depression i 1929 – og det vil være på permanent basis.

Jo hurtigere vi tackler klimakrisen, jo større sandsynlighed er der for, at vi kan undgå disse enorme velstandstab, som klimaforandringerne ser ud til at udløse. Jo længere vi venter med at håndtere klimakrisen, jo større bliver regningen. Disse økonomer vurderer endda, at den samfundsøkonomiske omkostning ved den nuværende 3 graders klimapolitik er hele 1056 dollar pr. tons CO₂e – dvs. cirka seks gange højere end den danske CO₂-afgift for industrien. Der er stadig uenighed blandt økonomer, hvor CO₂-afgiften bør ligge for at imødegå klimaforandringerne, men der er ingen tvivl om, at det sænker fremtidens udgifter, hvis vi hurtigt udfaser de fossile energikilder.

Hvis regeringerne tog et rationelt økonomisk og oplyst valg af energikilder, ville de vælge de billigste kilder til energi, og det er ikke længere olie, gas og kul. (Se kapitel 5) Men det sker ikke. Og det handler ikke bare om gamle vaner. Det sker i høj grad, fordi mange regeringer desværre stadig er med til at forvride markedet.

I dag er der på globalt plan en historisk høj statsstøtte til fossile brændsler, der de facto låser os fast til forbrændingssamfundet og forsinket en hurtig og dybtgående transformation af vores energisystem til ren og vedvarende energi. Den direkte og indirekte statsstøtte steg i 2022 til 7000 mia. dollars, viser **beregninger** fra den internationale valutafond, IMF. Hele 60 pct. af de samlede subsidier er indirekte og knytter sig til luftforurening og klimaskader, som de

fossile brændsler påfører samfundet, men som de ikke betaler for. Hvis de skulle betale den sande pris - og ikke fik lov til at forurene luften og atmosfæren næsten gratis - ville de fossile brændsler næppe kunne konkurrere.

Midt i en historisk stor klimakrise får olie-, gas- og kulindustrien får statslige subsidier for et beløb, der svarer til 7,1 pct. af det globale bruttonationalprodukt. Oveni kunne man også lægge det årlige spild af energi for cirka 5 pct. af BNP, som knytter sig til det gamle fossile energisystem.

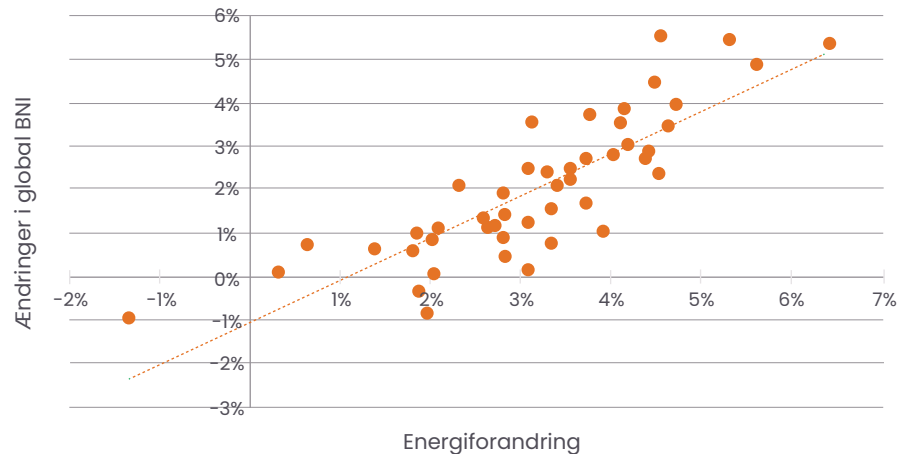
Til sammenligning brugte regeringerne kun 4,4 pct. af bruttonationalproduktet på uddannelse. Hvis hele den fossile statsstøtte blev udfaset, ville det ikke kun kunne udløse et boom for sol- og vindenergi, batterier, varmepumper, jordvarmeanlæg og andre grønne energiløsninger. Det kunne også redde livet for 1,6 mio. mennesker i verden, der hvert år dør for tidligt som følge af fossil luftforurening.

Hvis olie, gas og kul skulle konkurrere på rene markedsvilkår og betale for sine store klima- og miljø- og sundhedsskader – i stedet for stort set gratis eller med meget lave kvotepriser at udlede CO₂e til atmosfæren – ville disse energikilder givet blive udkonkurreret på markedet.

Det kan undre, at verdens finansministre ikke mere aktivt går ind i arbejdet med at gøre op med det fossile energisystem. En mulig forklaring kan være, at de stadig anvender økonomiske modeller og ligninger, der undervurderer betydningen af energi for den grundlæggende produktivitetsudvikling, og de stadig tillægger arbejdsudbud og maskiner langt større betydning. Der ser ud til at være gode grunde til at revurdere disse økonomiske modeller. For noget tyder på, at der i praksis er meget stor sammenhæng mellem energi og BNP. Se figur 7.

Måske vil energien få en mere fremtrædende placering i den økonomiske tænkning i takt med, at der udvikles nye og grønnere økonomiske modeller, og de fossile brændsleres negative sideeffekter vil blive prissat mere retvisende gennem f.eks. højere klimaafgifter. Men vi mangler stadig at se, at Danmarks og andre europæiske landes finansministre proaktivt tager energipolitikken så alvorligt, som de burde.

FIGUR 7. ENERGIFORANDRING VS ÆNDRINGER I GLOBAL BRUTTONATIONALINDKOMST (BNI) – SAMLET FOR ALLE VERDENS LANDE



Kilde: Steve Keen, 2023

POLITIK KAN GØRE EN STOR FORSKEL

I Danmark er energifgifternes andel af bruttonationalproduktet f.eks. mere end halveret i de sidste ti år. Og selv om der gradvist er indført CO₂-afgifter, har nedsættelsen af de samlede energifgifter været endnu større. Samlet set er de økonomiske incitamentet til at fremme energieffektiviseringer og at mindske forureningen blevet udhulet i de sidste 25 år. Lige før årtusindskiftet udgjorde miljø- og energifgifterne til sammen lidt over 5,2 pct. af bruttonationalproduktet, men i 2023 var det kun 2 pct. af BNP. Se figur 8.

Ønsker politikerne at fremme en mere energi-, ressource- og miljøbevidst adfærd i husholdninger og virksomheder, bør de reelle omkostninger ved forurening prises ind. Afgifter er en hurtig og effektiv måde at sende klare signaler til forbrugerne og til virksomhederne i markedet. Men i Danmark har vi i de sidste 25 år valgt at skære ned på miljø- og energifgifterne.

Det er vel og mærke uden at medregne de indtægter, der er kommet fra kulbrinteskatten og selskabsskat på udvindingen af fossile brændsler i Nordsøen. Fra 1972 til 2020 hentede statskassen 544 mia. kr. ind på det (opgjort i 2020-priser). De mange skattekrone har givet dansk

“Hvis olie, gas og kul skulle konkurrere på rene markedsvilkår og betale for sine store klima-, miljø- og sundhedsskader – så ville de blive udkonkurreret på markedet”

ØKONOMER STRIDES OM ENERGIENS BETYDNING FOR PRODUKTIVITETEN

Der er ikke enighed blandt økonomerne om, hvor meget energi og energipriserne betyder for produktivitet i samfundet. Begrebet produktivitet siger noget om, hvor meget værditilvækst produktionsprocessen frembringer i forhold til mængden af ressourcer, der anvendes i produktionen. De danske økonomiske vismænd har f.eks. i en analyse anslået, at når "danske fremstillingsvirksomheder står overfor 1 pct. højere energipriser, så falder timeproduktiviteten med 0,3 pct." Men de tilføjer samtidig, at energipriserne ikke påvirker den underliggende effektivitet i produktionsprocessen – dvs. totalfaktorproduktiviteten – bl.a. fordi virksomhederne løbende tilpasser sig og f.eks. kan erstatte energi med arbejdskraft eller investere i mere effektive teknologier, såsom bl.a. robotter.

Generelt spiller energi stadig en ret marginal rolle i deres analyser, og i udgivelsen *Økonomi og Miljø* i 2022 lagde vismændene til grund, at energiforbruget kun udgør "en begrænset del" af danske fremstillingsvirksomheders samlede omkostninger. I samme udgivelse skrev de på side 34, at "høj produktivitet opnås ved en effektiv tilrettelæggelse af produktionsprocesserne og anvendelsen af ny teknologi". *Effektiv* kunne i princippet godt henvise til *effektiv energianvendelse*, men det gør det næppe. I den klassiske økonomiske tilgang bruger man den såkaldte Cobbs-Douglas ligning for produktionen – og i senere modifikationer af den – antager man, at det primært er arbejdskraften og teknologien, der driver produktivitet frem. Den postkeynesianske økonomi Steve Keen har rettet en kraftig kritik af disse modeller, fordi de undervurderer, hvor stor betydning energi har for både arbejdskraft og teknologi.

Rent empirisk og historisk har der iflg. ham været en næsten 1:1 sammenhæng mellem udviklingen i den primære energiforsyning og så den globale økonomiske vækst. Se figur 7.

I stedet for at påstå, at produktionen – og totalfaktorproduktiviteten – er ret ufølsom overfor energi, så viser en korrelationsanalyse, at sammenhængen mellem energi og økonomi i årene fra 1971 til 2019 faktisk er hele 0,97 – og ikke de 0,03-0,04, som de neoklassiske økonomer har antaget. Med andre ord: Energi er nærmest lig produktion.

Økonomi et ekstra boost i de sidste halvtreds år, men udvindingen af olie og gas i Nordsøen har forværret klimakrisen. Og det gør den stadig.

Globalt har Danmark vist lederskab ved at stifte *Beyond Oil & Gas Alliance*, der internationalt presser på for at stoppe nye koncessioner og licens- eller leasingrunder for olie og gas, men i Nordsøen har staten gjort det stik modsatte og tilladt nye borer. Hvis Danmark på troværdig vis skal stille sig i spidsen for en grøn omstilling af energisektoren og føre en ambitiøs klimapolitik, bør der også tages fat på en hurtig udfasning af de danske olie- og gasfelter.

Et bredt flertal i Folketinget har besluttet at stoppe udvindingen i 2050, men i forhold til klimaet er det alt for sent, for Danmarks globale CO₂-budget løber ud allerede ud i løbet af de næste få år. (Se kapitel 4) Skal Danmark holde sig indenfor FN's Paris-aftale og målet om 1,5 graders temperaturstigning, er der brug for en hurtig udfasning af den fossile udvinding i Nordsøen.

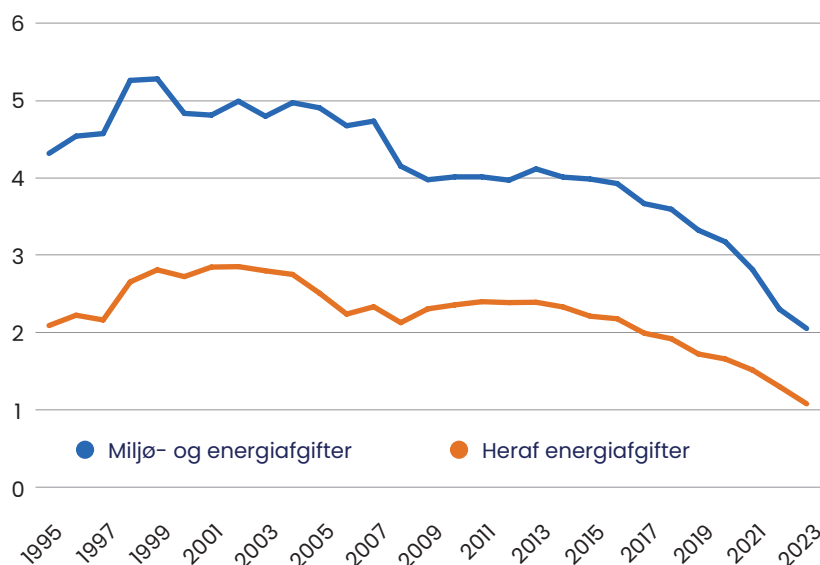
Et tredje sted at starte kunne være, hvis finansministrene definitivt siger stop for alle markedsforvridende subsidier til fossile brændsler, der øger klima- og miljøskaderne. EU's 8. miljøhandlingsprogram har forpligtet medlemslandene til at udfase de fossile subsidier, men i flg. Det Europæiske Miljøagentur giver medlemslandene stadig milliarder af euro i direkte og indirekte støtte til fossile brændsler, og i Danmark var det ca. 3,6 mia. kr. i 2022. I Danmark får virksomheder med energikrævende processer og landbruget stadig 100 pct. fritagelse eller en kraftig nedsættelse for en række energifgifter, selv om det reelt gør det billigere for dem at anvende fossile brændsler frem for at vælge elektriske alternativer. Dermed forlænger man den fossile tidsalder i stedet for at forkorte den.

En fjerde vej er proaktivt at give økonomisk støtte til de grønne teknologier, som bliver ryggraden i fremtidens energisystem. Danmark og andre EU-lande kan mere aktivt – som USA f.eks. har gjort med Inflation Reduction Act - give mere økonomisk støtte og føre industripolitik, der kan fremme investeringerne i de grønne teknologier og løsninger. Hvis ikke man gør det i stor skala i EU, er risikoen, at Kina i de kommende år udbygger sin geopolitiske dominans indenfor fremtidens grønne teknologier og værdikæder.

Den gode nyhed er, at vi stadig har et stort handlerum, for priserne på den vedvarende energi er nu historisk billig. De skal bringes i spil i en storstilet og fremsynet omkalfatring af hele energipolitikken. Og en ny grøn industripolitik kan her være med til at accelerere omstillingen. Man skal selvfølgelig ikke undervurdere, at transformationen er en krævende opgave, og alle sektorer skal udskifte de gamle fossile teknologier og løsninger. Det gamle kapitalapparat skal udskiftes, og nye grønne teknologier og løsninger skal spille ordentlig sammen. På de fleste områder er de grønne løsninger allerede klar, og de kan implementeres hurtigt og omkostningseffektivt.

T2040 scenariet i denne rapport viser, at Danmark f.eks. kan spare mange penge ved en hurtigere overgang til elektriske biler. (Se kapitel 6) Også omlægningen af varmesektoren og elektrificering af industrien vil være økonomisk fordelagtig. Der kan også hentes store gevinster ved at investere mere i energieffektiviserin-

FIGUR 8. MILJØ- OG ENERGIAFGIFTER, SOM ANDEL AF BNP, PCT.



Bemærk at afgifter her er angivet uden ressourcerente, kulbrinteskot på olieudvinding i Nordsøen, og selskabsskat på kulbrinteudvinding.

Kilde: Rådet for Grøn Omstilling, 2024. Egne beregninger på baggrund af tal fra Danmarks Statistik.

ger og at stimulere borgere og virksomheder til at spare på energien. Den billigste energi er altid den, vi ikke bruger.

Den største barriere for at skabe et fossilfrit energisystem er, at omlægningen af fly- og skibstransporten kan blive relativt kostbar, for fremstillingen af e-fuels med grøn brint er stadig relativt dyr. Fordyrelser i disse sektorer kan dog muligvis begrænses i fremtiden. Fortsætter batteriernes prisfald og de store fremskridt ift. deres energitæthed, er det ikke utænkeligt, at en betydelig andel af skibs- og luftfarten også kan elektrificeres frem mod 2040.

Ingen kan spå om fremtiden, og i denne rapport har vi taget udgangspunkt i, at det i en periode vil være nødvendigt med betydelige mængder e-fuels for at sikre en 100 pct. dekarbonisering af den internationale transport på de lange distancer. Vi tror derimod ikke, at det er realistisk at drømme om, at folks rejse lyst og mobilitet vil falde. Men i forhold til klimakrisen er vi nødt til at finde en holdbar og realistisk løsning på den udfordring. Og vi har ikke tid til at vente på, at alle de grønne elektriske

løsninger er klar, og derfor gælder det om at komme i gang med omstillingen. Også for omstillingen af den internationale transport, selv om det er en ekstrem svær og krævende udfordring.

Den vigtigste samfundsudfordring i de næste 10-15 år er at udfase alle fossile brændsler. Det kræver frem for noget, at vi får bygget et 100 pct. bæredygtigt og robust energisystem, hvor vi kan blive selvforsynende med ren vedvarende energi. Det haster. En hurtigere skalering af de grønne teknologier og løsninger på markedet er afgørende for at bringe os helt i mål. Det kan samtidig styrke vores geopolitiske sikkerhed, hvis det lykkes at frigøre os helt fra importen af fossile brændsler fra de autoritære regimer fra Rusland til Mellempøsten, hvis værdier vi ikke deler. Her kan det kun gå for langsomt.

Energi skaber ikke kunne bevægelse og driver samfundet videre. Vores energivalg afgør også, om vi kan løse klimakrisen, og hvad det er for en verden, vores børn og børnebørn skal vokse op. Enerkipolitik bør behandles som storpolitik og ikke som sektorpolitik.

KILDER

- McKinsey Global Institute, [The hard stuff](#). Navigating the physical realities of the energy transition, august 2024.
- Monforti-Ferrario, F., Energy use in the EU food sector: State of play and opportunities for improvement, EU Joint Research Centre, 2015.
- Green Power Denmark, Elektrisk Europa - Powered by Denmark. 23. maj 2024.
- Rådet for Grøn Omstilling, egne beregninger
- Ea Energianalyse, Et bæredygtigt energisystem 2040
- Iflg. [www.statistikbanken.dk/ENE3H](#) forbrugte dansk økonomi i 2023 samlet set olieprodukter med en samlet energi på 745 PJ. I hver tønde olie er der 6,12 gigajoule energi.
- Madeddu, Silvia, et al. The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat), 2020 Environ. Res. Lett. 15, 25. november 2020.
- Viegaard Maagøe for Energistyrelsen. Kortlægning af energiforbrug og opgørelse af energisparepotentialer i produktionserhvervene, 2023.
- Energinet, Langsigtet udviklingsplan, 2024.
- Hagens, N.J., Economics for the future- Beyond the superorganism, Ecological Economics, Volume 169, March 2020. En tønde olie kan udføre 1700 kWt arbejde, mens en arbejder kan udføre 0,6 kWt på en arbejdsdag. Det tager 11 arbejdsår for et menneske at udføre samme mængde arbejde. Så selv hvis mennesker er 2,5 gange så effektive til at konvertere energi til arbejde, så kan en tønde olies energi levere 4,5 menneskers fysiske arbejde i et helt år.
- Energy Institute, Statistical Review of World Energy 2024. Verdens primære energiforbrug var i 2024 samlet set 619,19 exajoule.
- Energy Institute - Statistical Review of World Energy, 2024, og Ritchie, H. & Rosado, P., [Our World in Data](#). Primært energiforbrug, korrigeret via substitutionsmetoden.
- Biro, Fatih, Peak fossil fuel demand will happen this decade, Financial Times, 12. September 2023.
- Brockway, P.E. m.fl., Estimation of global final-stage energy-return-on-investment for fossil fuels with comparison to renewable energy sources. Nature Energy 4, 612-621, 2019.
- Aramendia, E., Brockway, P.E., Taylor, P.G. et al. Estimation of useful-stage energy returns on investment for fossil fuels and implications for renewable energy systems. Nature Energy 9, 803-816 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41560-024-01518-6>
- Way et al., Joule 6, 2057-2082, 21. September 2022.
- EEA, Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023, 24. November 2023.
- Jacobson, Z. Mark m.fl., Impacts of a Green New Deals on Grid Stability, Costs, Jobs, Health and Climate in 143 Countries, One Earth 1, 20. December 2019, sd. 449-463.
- Garrett-Peltier, Heidi, Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model. Economic Modelling, volume 61, februar 2017.
- Emambakhsh, Fuchs m.fl., The Road to Paris: stress testing the transition towards a net-zero economy, European Central Bank, Occasional Paper Series no 328
- Bilal, A. and Känzig, Diogo R, The Macroeconomic Impact Of Climate Change: Global Vs. Local Temperature, National Bureau of Economic Research, Working Paper 32450, August 2024.

“Den ekstra regning kan blive op imod 12 pct. af bruttonationalproduktet for hver grad, den globale temperatur stiger. Hvis temperaturerne i 2100 ligger 3 grader over det førindustrielle niveau vil det samlede velfærdstab svare til Den Store Depression i 1929 – hvert år”

“Vi spiller russisk roulette med vores planet. Vi har brug for en afkørsel væk fra motorvejen til et klimahelvede, men sandheden er, at vi mister kontrol over rattet. (..)Slaget om 1,5 grader bliver afgjort i 2020´erne”

— António Guterres, FN's generalsekretær



Klima- og naturkriserne.

Det kostbare bagtæppe

Oversvømmelse, ekstrem tørke, naturbrande, og historiske varmerekorder. Acceleration i afsmeltningen af polerne og Grønlands Indlandsis. Udtørring af floder. Masseudryddelse af arter. Massiv forekomst af invasive arter. Erosion og ørkendannelse. Forsuring af havene.

Vi hører det igen og igen. Det dramatiske bagtæppe af ekstreme naturfænomener og vejrrekorder, der vidner om den ubalance, vi mennesker qua vores levevis er i gang med at påføre jordkloden. Det er de klare beviser på, hvordan vores massive afhængighed og afbrænding fossile brændsler som olie, kul og gas - og den deraf afledte CO₂-udledning - allerede påvirker jordens økosystemer.

Verdens temperatur er steget med 1,28 grader Celsius i forhold til niveauet før industrialiseringen - hvis man tager et gennemsnit over de sidste 30 år. Men i de seneste år har vi set den ene rekord efter den anden blive slået. I en periode på 12 måneder frem til sommeren 2024 blev den globale temperatur målt til 1,68 °C over gennemsnittet fra 1850-1900. I 2024 ser ud til at blive det varmeste år siden den førindustrielle tidsalder. I august måned slog de globale temperaturer endnu engang en ny rekord. Se figur 9.

Vi er med andre ord hastigt på vej mod at nå den temperaturstigning på 1,5 °C

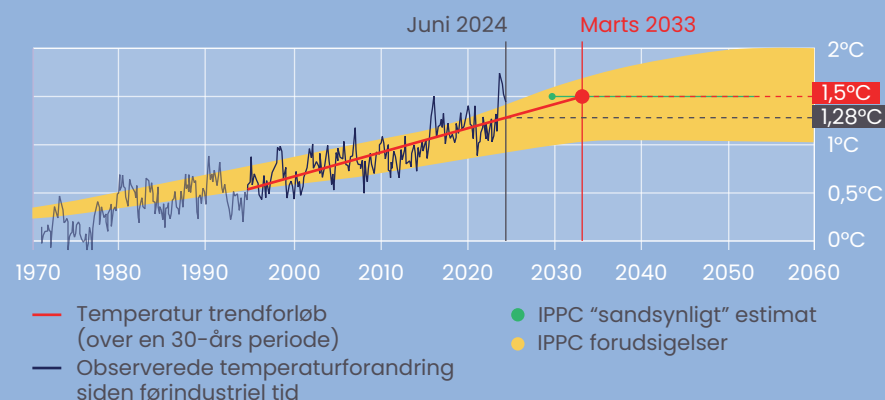
(over en 30-årig periode), som det globale samfund i Paris-aftalen blev enige om, ville være den sikreste grænse at holde sig under i år 2100. Verdenshavene er nu så varme, at de har fået sværere ved at opsuge den varme, som menneskeheden sender ud i atmosfæren. Fortsætter de seneste års temperaturstigninger vil vi overskride Paris-målet på 1,5 °C i marts 2033. Nogle klimaforskere mener, at det kan gå endnu stærkere.

Siden 1980'erne har klimaopvarmningen i Europa været dobbelt så stor som det globale gennemsnit.¹

Trods flere årtiers skarpe opråb fra førende klimaforskere, opererer verdens regeringer, virksomheder og forbrugere stadig i strid med videnskabens anbefalinger. Selv om mere end 70 pct. af verdens udledning af drivhusgasser - og 90 pct. af CO₂-udledningerne - stammer fra afbrænding af fossile brændsler, har den menneskelige civilisation aldrig hevet flere fossile brændsler op af undergrunden end i 2023.

På globalt plan stiger CO₂-udledningen fortsat - trods globale klimaaftaler og nationale klimaambitioner. Klimapåvirk-

FIGUR 9. HVORNÅR OVERSKRIDER VI 1,5°C?



Kilde: EU Copernicus Climate Service, 2024.

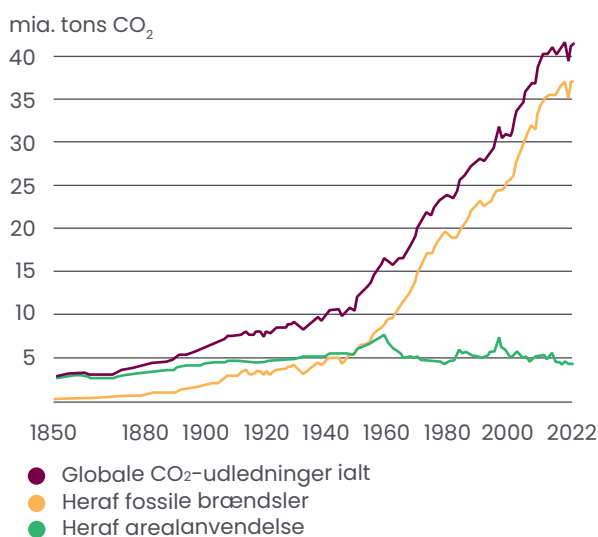
ninger fra de øvrige drivhusgasser – metan, lattergas, ozon og F-gasser - stiger også fortsat, mens der er usikkerhed om den kølende effekt af aerosoler.²

Med det stigende fossile energiforbrug er det globale ressourceforbrug også accelereret hastigt, og i 2024 har verdens befolkning brugt flere ressourcer end nogensinde tidligere i historien. Den globale vægt af menneskehedens samlede byggeri og fremstillede varer er nu større end alle levende biologiske materialer, der forefindes i naturen.³ Rent videnskabsmæssigt og teknologisk har den menneskelige civilisation aldrig haft en større skaberkraft, men paradoksal nok har menneskets destruktive kraft overfor natur og miljø heller aldrig været større. Alene i Danmark har professor Peter Birch Sørensen og en gruppe økonomer beregnet, at vores økonomiske aktiviteter nu har så store negative sideeffekter, at der hvert år skæres mindst 10 pct. af bruttonationalproduktet som følge bl.a. luftforurening, biodiversitetstab, drivhusgasudledninger, forurening af drikkevand og af havet. Naturen giver os samtidig en række gratis økosystemtjenester med ren luft, rent vand, en dyrkbar jord, råstoffer og et levedygtigt klima, men når vi i jagten på snæver BNP-vækst destruerer disse værdier og sprænger de planetære grænser, får det en høj pris. Disse negative sideeffekter er - ligesom energiens centrale betydning for produktivitet og velstand - ikke regnet ordentligt ind i de eksisterende økonomiske modeller. Det er afgørende at få ændret de økonomiske modeller, så de bedre afspejler virkeligheden.

VI SPRÆNGER DE PLANETÆRE GRÆNSER

Seks ud af Jordens ni planetære grænser er overskredet.⁴ Det betyder, at vi på seks områder nu er nået ud over grænsen for, hvad menneskets aktivitet "sikkert" kan tillade sig uden at påvirke det globale økosystem negativt – med risiko for, at det udløser dramatiske miljøændringer på kloden. Ud af de ni

FIGUR 10. CO₂-UDLEDNING, FRA FOSSIL ENERGI OG AREALANVENDELSE, 1850–2023, MIA. TON.



Kilde: Global Carbon Budget, 2023, [Our-World-In-Data.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions](https://our-world-in-data.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions)

“Forskere mener, at energi reelt burde betegnes som den 10. planetære grænse. Der er absolutte fysiske grænser for, hvor meget fossil energi, der kan udvindes og forbruges”

planetære grænser, som er afgørende for, at det globale økosystem kan trives, har vi i dag overskredet biodiversitet, kemikalieforurening, klima, udslip af reaktivt kvælstof og fosfor til miljøet, vores arealanvendelse og herunder hvor meget skov vi fældes samt vores forbrug af ferskvand. Se figur 11.

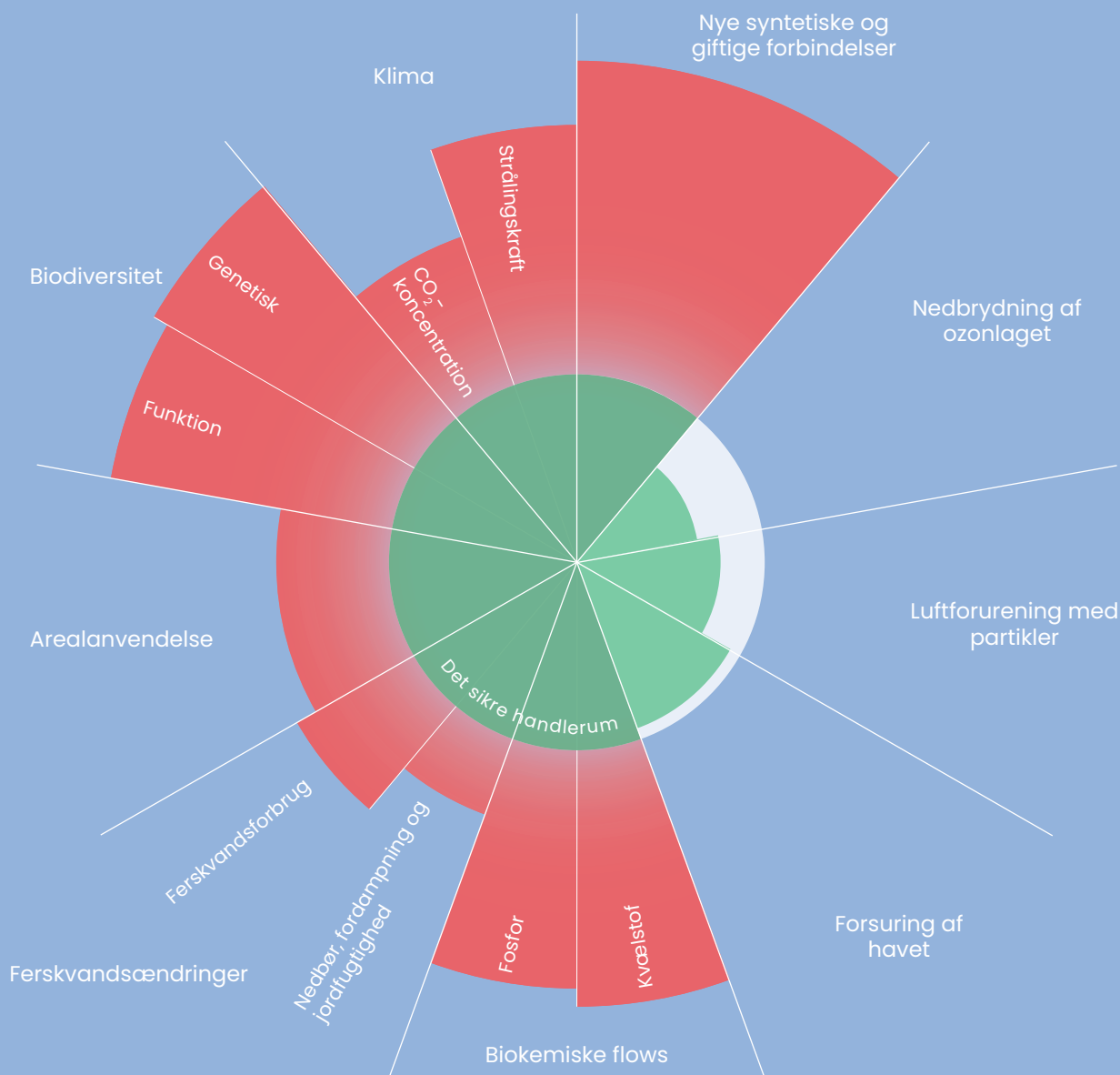
Det er vigtigt at beskytte Jordens økosystemer og bringe menneskeheden sikkert indenfor de planetære grænser - herunder særligt de seks grænser, der i dag er overskredet. Ingen af kriserne kan løses isoleret. De ni planetære grænser er tæt forbundne, de formes af gensidige feedback loops, og deres sårbarhed og løsninger afhænger af hinanden. Grønlands indlandsis er f.eks. i stand til – via den såkaldte albedo-effekt – at sende 89 pct. af solens varme tilbage til atmosfæren, men når den smelter hurtigt, som det er sket i de seneste årtier, og det ferske smeltvand sendes ud i den nordlige del af Atlanterhavet, kan det forstyrre optaget af CO₂ i havene. En øget afsmeltning fra den grønlandske indlandsis vil mindske saltindholdet af området havvand nok til at forstyrre den store cirkulationspumpe i Nordatlanten og Golfstrømmen. Dette kan føre til et koldere klima på den nordlige halvkugle. Når de globale temperaturer er steget til over 2 grader Celsius, regner man med, at indlandsisen ikke længere står til at redde.

Omkring 89 pct. af den varme, som solens stråler sender ind til jorden, er opsuget af verdenshavene, og effekten af de menneskeskabte klimaforandringer er i lang tid holdt nede af naturens gratis serviceydelser. Men da havtemperaturerne er steget betydeligt i de seneste år, kan det være et udtryk for, at oceanerne har fået sværere ved at suge de store mængder varme og CO₂ op, som de menneskelige aktiviteter forårsager. Også skovenes økosystemer ser ud til at være ude af balance, hvilket bl.a. er forårsaget af stigende temperaturer, skovfældning til landbrug og energisektoren, byudvikling mv. Op imod 60 pct. af CO₂-udledningerne til atmosfæren er indtil nu blevet suget op i havene og i skovene⁵, men på grund af de negative feedbackloops i klimakrisen, kan man ramme et tipping point, hvor det - der engang var en positiv hjælper - forvandles til en negativ forstærkning. I Amazonas regnskovene, der i 65 mio. år har været relativt modstandsdygtige i forhold til klimaforandringer, ser det ud til, at der nu frigives mere kulstof til atmosfæren end der opsuges.⁶

Hvis vi ikke løser klimakrisen, kan det blive svært, om ikke umuligt, at bringe Jordens økosystemer indenfor en sikker og bæredygtig ramme. Det kræver, at vi hurtigt udskifter vores fossile energiforbrug med vedvarende energikilder, der effektivt kan nedbringe udledningen af de farlige drivhusgasser.

FIGUR 11. SEKS UD AF NI PLANETÆRE GRÆNSER ER OVERSKREDET

Allerede i 2009 identificerede 26 af klodens førende miljø- og klimaforskere, herunder bl.a. den svenske professor Johan Rockström og den danske professor Katherine Richardson, de røde linjer, som menneskelig aktivitet ikke må overskride, hvis det globale økosystem fortsat kan trives. Grøn: Vi er inde for den sikre zone i forhold til planetære grænser – det sikre handlerum. Orange-rød: Vi er qua menneskelig aktivitet gået ud over det sikre handlerum og risikerer at ændre drastisk ved jordens økosystem.



Kilde: Azote for Stockholm Resilience Center baseret på analyse af Richardson m.fl. 2023

Landbrugets udledninger udgør globalt op mod en fjerdedel af den samlede klimapåvirkning, og klimaet kan ikke reddes uden, at disse også reduceres betydeligt. Ligeledes skal andre erhverv med stort klimaaftryk, såsom industrien, byggeriet og transporten dekarboniseres

FOSSIL ENERGI FORSTÆRKER DE PLANETÆRE KRISER

Den omfattende udvinding, produktion og afbrænding af olie, gas og kul er den drivende årsag bag de fleste af de ni planetære kriser – dvs. klima, biosfæren, luftforurening, biokemiske flows, nye kemikalier, forurening af havene og ozonlaget.⁷ De fossile brændsler står bag 90 pct. af verdens CO₂-udledninger og omkring en fjerdedel af denne CO₂ absorberes af verdens have, sænker havenes pH værdi og fører til forurening af havene. Oveni kommer de stigende havtemperaturer som følge af klimaforandringerne, som også har fossile brændsler som sin hovedmotor. Og der skal fossil energi til at fremstille kunstgødning, hvor en del siden siver ned i vandmiljøet, ledes ud i havene og fører til havdød, som vi bl.a. har set det i Danmark.

Pesticider og kunstgødning er også fremstillet ved brug af fossil energi. Anvendelsen af pesticider kan måske frigøre op til 7-8 gange så meget N₂O fra jorden, og N₂O er en 300 gange så potent drivhusgas som CO₂.⁸ Dette forskningsresultat er dog ikke almindeligt anerkendt og bruges derfor ikke ved rapporteringen af nationale klimaregnskaber. Mange pesticider har også en lille film med mikroplast, der er lavet af fossile brændsler. Denne mikroplast ophobes over tid i naturen. Fossile brændsler er dybt indlejret i vores industrialiserede landbrug, og de har negative spill-over effekter i forhold til flere af de planetære kriser.

Biodiversitetskrisen på landjorden skyldes mange forskellige faktorer, men den intense rovdrift på naturen og landområderne, industrialisering af landbruget og byernes vækst var ikke nået så vidt, uden at menneskeheden havde hentet så store mængder af fossil energi op fra naturens gamle kulstoflagre.

Enkelte forskere mener, at energi reelt burde betegnes som den 10. planetære grænse.⁹ Der er absolutte fysiske grænser for, hvor meget fossil energi, der kan udvindes og forbruges, hvis ikke Jordens naturlige systemer skal bringes ud af balance. Denne grænse er for længe overskredet, og det er ikke alene i forhold til klimaet og de andre planetære grænser.

I takt med at fossil energi udfases i energisektoren, er det muligt, at olie- og gasselskaberne vil forsøge at lave en sideforskydning for at afsætte deres varer til den kemiske industri og plastindustrien. I dag går ca.

12 pct. af det samlede olieforbrug i den petrokemiske industri, men iflg. Det Internationale Energiagentur (IEA) vil de fremover måske stå bag halvdelen af verdens olieforbrug. 99 pct. af al plastik er lavet af fossile brændsler, og de stigende mængder plast, der ophobes i naturen, forstærker den planetære krise ift. de syntetiske og giftige stoffer.

Hvis fremtidens plastproduktion baseres på fossile brændsler, vil den fortsat overskride de planetære grænser. Det gør den allerede i forhold til klimaet, forurening af havene, biodiversitet og luftforurening med aerosoler.¹⁰

Det er dog ikke umuligt at transformere plastindustrien, så den – næsten - kan bringes indenfor de planetære grænser. Hvis forbruget nedsættes, mindst 75 pct. af al plastik recirkuleres, mere fremstilles med bio-baserede stoffer, og den resterende del fremstilles med CO₂, vedvarende energi, vandkraft eller atomkraft, vurderer nogle forskere, at plastik i fremtiden kan holde sig indenfor måske otte af de ni planetære grænser.

EUROPAS ENERGISYSTEM OPERERER UDENFOR DE PLANETÆRE GRÆNSER

I EU kommer 68 pct. af det primære energiforbrug stadig fra olie, gas og kul, mens atomkraft står for knap 10 pct. og den vedvarende energi dækker 22 pct.¹¹ Sektor for sektor skal de fossile brændsler udfases og erstattes af renere energikilder, samtidig med at man sætter ekstra fart på den cirkulære økonomi, udvikler biobaserede produkter og stimulerer til adfædsændringer, der kan begrænse forbruget. Energieffektiviseringer og besparelser kan mindske EU's samlede fodaftryk og give en hurtig klimaeffekt, men det er også vigtigt, hvordan vi producerer energien.

Bioenergi udgør i dag cirka 10 pct. af EU-landenes endelige energiforbrug, men den andel ventes at være dobbelt så stor i 2030. Til den tid vil Europas bioenergiproduktion have et globalt fodaftryk, der cirka svarer til **to gange Tysklands areal**. Allerede i dag opererer EU-landene på dette punkt udenfor de planetære grænser, og især afbrændingen af fast træbiomasse har givet anledning til bekymring. I EU er regnes det stadig som en CO₂-neutral energikilde, og medlemslandene giver hvert år **milliarder af euro i statsstøtte** til energiselskaber, der brænder træbiomasse af. Europa-Parlamentet forsøgte i 2023 dog at forbyde statsstøtte til afbrænding af træbiomasse, men medlemslandene i Rådet afviste det – bl.a. med støtte fra den danske regering. Det skete ud fra en bekymring om, at det i givet fald vil føre til et øget forbrug af fossile brændsler.

Uanset hvad vil en fortsat vækst i afbrændingen af træbiomasse bringe os endnu længere ud i den røde

zone i forhold til de planetære grænser. Forskningen viser, at afbrændingen af træbiomasse fører til stigende partikelforurening, den medfører afskovning i Europa og i andre verdensdele og den har en skadelig effekt ift. klimaet. Eller som en gruppe forskere konkluderer: Fyring med træbiomasse vil i Europa aldrig give en karbon gevinst, men vil i stedet over tid akkumulere negative effekter, fordi bioenergi-produktionen fanger mindre karbon end de skove, de erstatter. "Selv under meget optimistiske antagelser, vil nettogevinsterne næppe blive realiseret i dette århundrede."¹²

Det europæiske forskningsråd har i en analyse vurderet, at det kræver 50-100 gange så meget areal at generere energi fra bioenergi som fra sol og vind. Så alene ud fra en betragtning om arealanvendelse er afbrænding af træbiomasse en meget ineffektiv måde at producere energi på.¹³

En analyse af den europæiske varmforsyning viser, at hvis man fortsætter *business as usual*, så opererer vi i den røde zone langt udenfor de planetære grænser. En storskala elektrificering med varmepumper og ren grøn strøm er iflg. forskerne den foreløbig eneste absolut bæredygtige løsning, som kan bringe os indenfor de planetære grænser. Man skal også øge mængden af vindenergi på land og lægge mange flere højspændingskabler for at bringe strømmen hurtigere over de europæiske landegrænser.¹⁴

"En analyse af den europæiske varmforsyning viser, at hvis man fortsætter business as usual, så opererer vi i den røde zone langt udenfor de planetære grænser"

Anvender man derimod brint i varmforsyningen, vil det være 2-3 gange dyrere, og det vil sprænge flere af planetære grænser, vurderer forskerne.

En anden forskningsanalyse af EU-landenes elforsyning har vist, at hvis man fortsætter *business as usual*, så overskrides flere af de planetære grænser. Hvis EU skal opnå absolut bæredygtighed i elforsyningen, anbefaler forskerne, at der laves "en hurtig udbygning i andelen af vedvarende energikilder så som vandkraft, vind (onshore og offshore) solceller og koncentreret solenergi" såvel som CO₂-fangst på biomasseanlæg (BECCS). BECCS kan give negative sideeffekter ift. bl.a. biodiversitet, der skal adresseres.¹⁵ Klimaeffekten er dog meget usikker. Se figur 12.

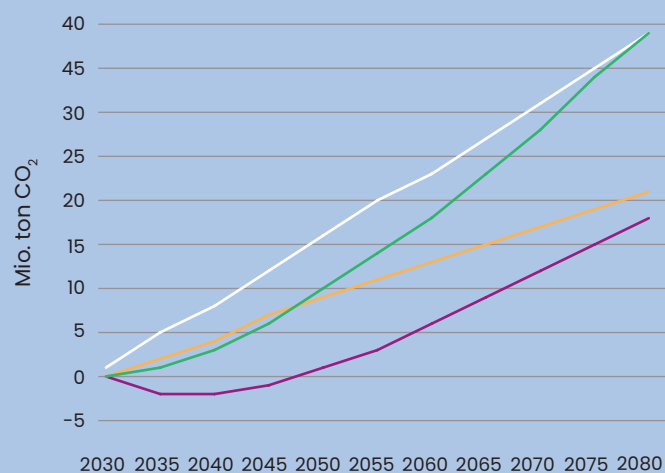
BECCS-anlæg fanger ikke 85-99 pct. af den CO₂, der udledes – som Energistyrelsen bl.a. regner med – for tallet er snarere 65-75 pct. eller endnu lavere.¹⁶ Skal

CO₂-FANGST PÅ TRÆ ER EN TVIVLSOM AFFÆRE

Mange tror, at CO₂-fangst på biomasse-fyrede energianlæg (forkortet til BECCS = Biomass Energy Carbon Capture and Storage) trækker CO₂ ud af atmosfæren svarende til den geologisk lagrede mængde CO₂ (dvs. "Akkumuleret geologisk lager v. BECCS"). Men det er en misforståelse: Det er den afbrændte biomasse, der har trukket CO₂ ud af atmosfæren – ikke BECCS-anlægget. Fysisk set flytter et BECCS-anlæg kun et kulstof- / CO₂-lager bundet i biomassen ned i et geologisk lager. Efter hidtidige erfaringer medfører det typisk et tab til atmosfæren på op mod 30 % af den CO₂, der dannes ved forbrændingsprocessen, og dertil kommer CO₂ udledninger fra transport af biomassen frem til anlægget (dvs. "Akkumulerede rest-udledninger ved BECCS").

Afbrænding af f.eks. træ i et BECCS-anlæg forhindrer dog CO₂ udledninger fra forrådnelse af det anvendte træ til atmosfæren (dvs. "Akkumulerede udledninger v. deponering af træ i skov"). Først på det tidspunkt hvor CO₂ udledninger fra forrådnelse af træ efterladt i skoven overstiger rest-udledninger fra BECCS-processen, vil et BECCS-anlæg formindske CO₂-indholdet i atmosfæren. For et BECCS-anlæg på Amager4-værket kan der gå knap 20 år, før det leverer negative emissioner.

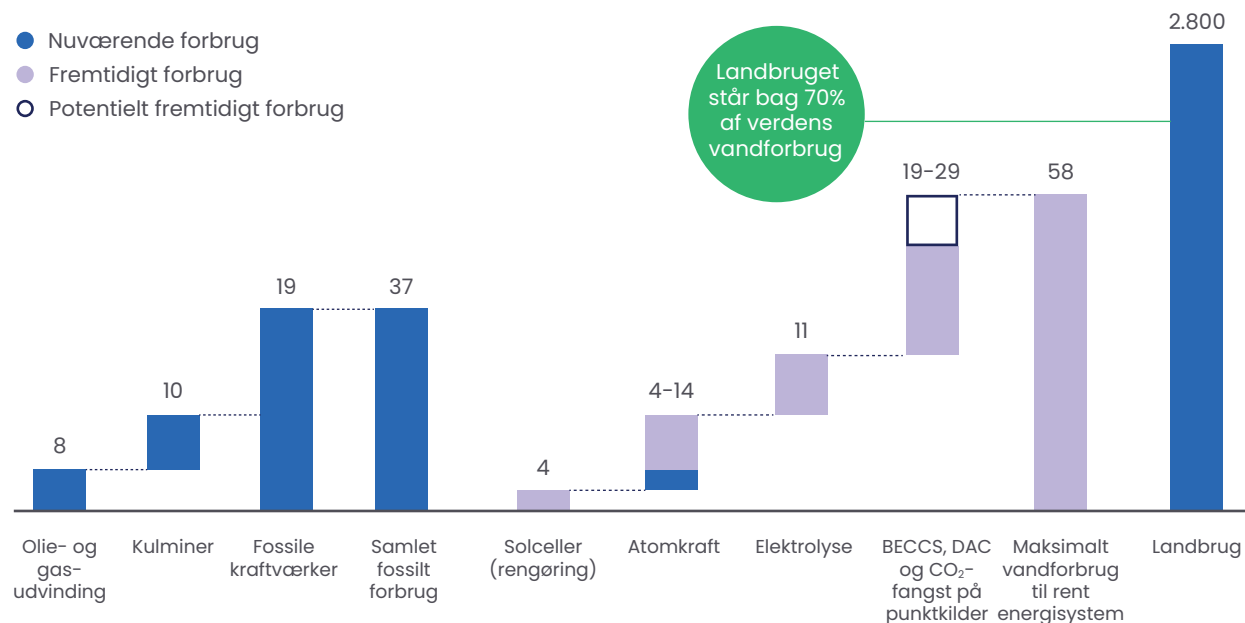
FIGUR 12. NEGATIVE UDLEDNINGER V. BECCS, AMAGER 4



- BECCS, geologisk lager, akkumuleret
- Udledninger v. deponering træ i skov, akkumuleret
- BECCS, rest-udledninger, akkumuleret
- BECCS, negative udledninger, akkumuleret

Kilde: Rådet for grøn omstilling, egne beregninger
70% fangsteffektivitet & 5% tillæg for transport af træ

FIGUR 13. GLOBALT VANDFORBRUG, MIA. KUBIKMETER



Kilde: Energy Transition Commission, 2021.

Systemisk analyse baseret bl.a. på IEA, Water-Energy Nexus, 2021; Meissner, The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacity, 2021.

man samtidig medregne, hvor lang tid det tager at genskabe det tabte lager i skovene, er det højst tvivlsomt, at BECCS kan skaleres globalt.¹⁷

FORSKELLIGE NATUREFFEKTER VED ALTERNATIVE ENERGIKILDER

De rene vedvarende energikilder som sol og vind, hvor man ikke behøver at installere nye energikrævende CO₂-støvsugere for enden af skorstenen, bliver afgørende for at bringe vores samfund indenfor de planetære grænser. Men selv i forhold til sol- og vindenergi er der udfordringer, som skal løses. De har meget store positive effekter ift. klima, forsuring af havene, luftforurening og ozonlaget. Men deres fodaftryk på arealanvendelsen er mange fold lavere end f.eks. bioenergi, og de vil lægge ekstra beslag på landareal og måske udfordre biodiversiteten. Det sidste kan dog imødegås ved indtænke naturhensyn og biodiversitet ved nye anlæg af solcelleparker og vindturbiner, og ved at udtage endnu større arealer fra det industrielle landbrug og investere i meget mere skov og vild natur.

Solcelleanlæg har vist sig mange steder at føre til øget biodiversitet, og det er tydeligt, når landbrugsarealer – som tidligere har været dyrket intensivt og været sprøjtet – tages ud af produktion for at give plads til solcelleanlæg.¹⁸ Vindturbiner er mindre pladskrævende, men har en række udfordringer ift. fugle og flagermus, der kan blive dræbt af vingerne, og her skal der i givet fald laves afbødende foranstaltninger.

Arealforbruget til solcelleanlæg på bar mark er typisk mellem 12,6-19 m² pr. MWh, vandkraftanlæg bruger 14 m² pr. MWh og en vindturbine på land lægger fysisk beslag på 0,4 m² pr. MWh, men på grund af afstandskrav mv. vil det typisk være mellem 8-99 m² pr. MWh. Atomkraft fylder 0,3 m² pr. MWh og lægger dermed beslag på et mindre areal, men der er betydelige udfordringer i forhold til radioaktivt affald. I de første forskningsstudier om de planetære grænser var radioaktivt affald ikke nævnt, men i den seneste analyse fra den internationale forskningsgruppe ledet af Katherine Richardson m.fl. er radioaktivt affald inkluderet i kategorien nye syntetiske og giftige stoffer.¹⁹

I forhold til vandforbruget er sol- og vindenergi klart de bedste løsninger, hvorimod elektrolyse til brintfremstilling har et flere gange større vandforbrug. CO₂-fangst på biomasse og andre punktkilder klarer sig dårligere end selv fossile brændsler. Se figur 13.

KLIMAKRISEN FORVÆRRER FLERE PLANETÆRE KRISER

Klimakrisen er en stor risikomultiplikator, der påvirker flere af de planetære grænser. Eksempelvis vil klimaforandringer med højere temperaturer, mere tørke og ændringer i nedbørsforhold øge presset på biodiversiteten i forhold til levesteder for planter og dyrearter. Ved to graders temperaturstigning kan op imod 10 pct. af alle arter på jorden være truet af udryddelse, så der er ingen større trussel mod

biodiversiteten på land og i havene end netop klimaforandringerne. Og dermed også de fossile brændsler.

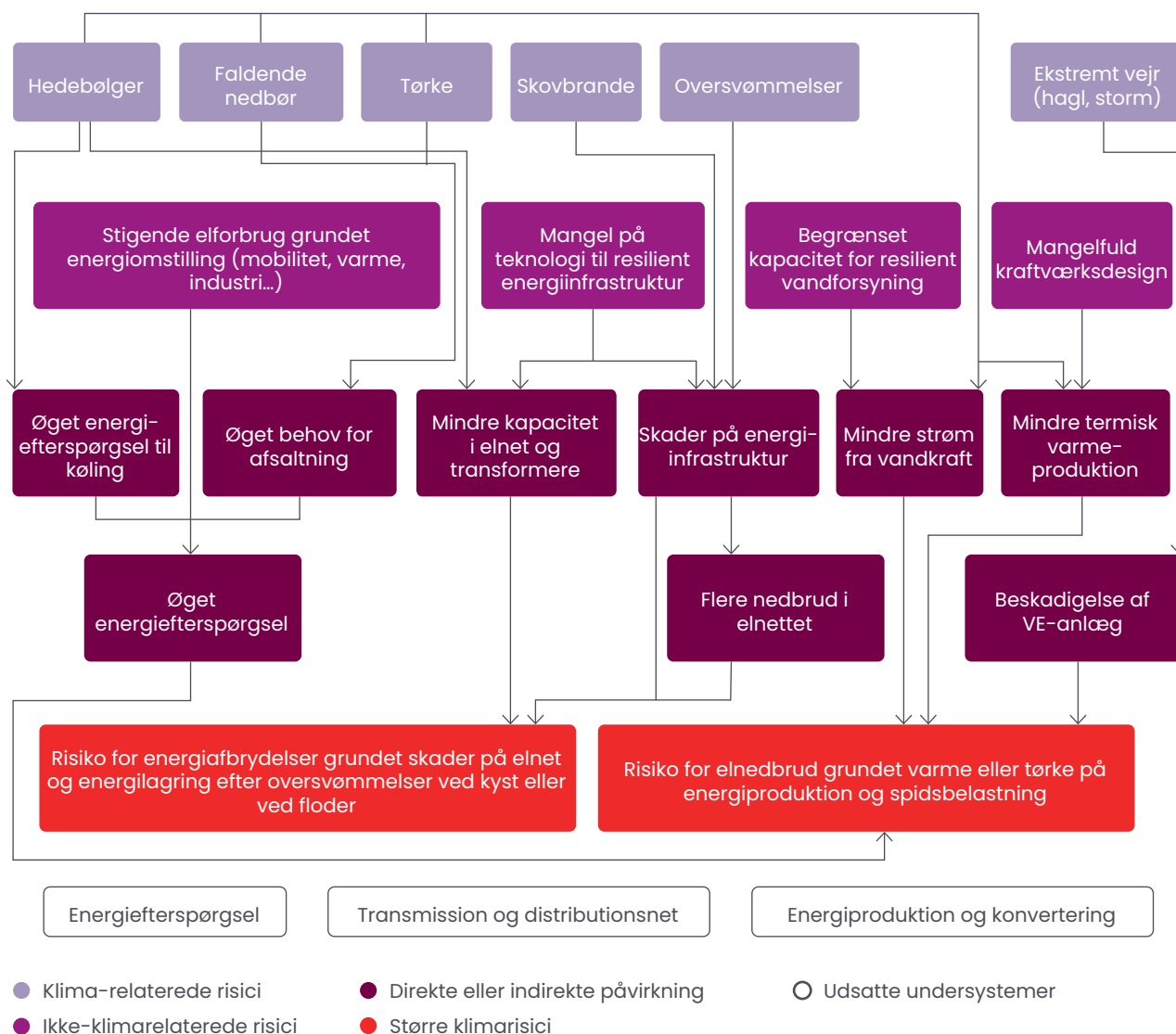
I det lys kan det virke paradoksalt, hvis man af hensyn til risikoen for f.eks. markmus eller flagermus nogle gange blokerer for opstilling af nye vindmøller – der kan fjerne de fossile brændsler, minimere luftforureningen og gøre noget reelt ved klimaforandringerne. Det er vigtigt at sikre naturhensyn, men i stedet for at fokusere på konkrete lokale tab og miljörisici, bør man fastholde et helhedssyn og kigge på arternes samlede livsbetingelser og sikre robuste økosyste-

mer. I den grønne omstilling af energisektoren er der mange dilemmaer – eller såkaldt *wicked problems* – men hvis ikke vi løser klimakrisen og frigør os fra de fossile brændsler, ser det sort ud for biodiversiteten.

Fortsat udledning af drivhusgasser på et højt niveau vil medføre yderligere forsurening og opvarmning af havene. Klimaforandringerne kan føre til mangel på mad og vand, tab af arbejdspladser, forværret sundhed, nedsat levestandard og historisk store migrationsbølger. Det er blot nogle af de menneskelige omkostninger, som klimaforandringerne fører med sig.

Gang på gang har vi hørt førende eksperter og organisationer komme med alarmerende advarsler og klare opfordringer til verdenssamfundet om at skrue gevaldigt op for tempoet i omstillingen, men indtil nu går det den stik modsatte retning. Meldingen fra det internationale klimapanel, IPCC, er ellers klokkeklar: "Uden øjeblikkelige og dybe reduktioner på tværs af alle sektorer, vil det være uden for rækkevidde at begrænse de globale temperaturstigninger til 1,5C." IPCC betegner de næste få år som "kritiske" for, om vi undgår en klimakatastrofe med vidtrækkende negative konsekvenser for hele jorden.

FIGUR 14. RISICI FOR ENERGISYSTEMET SOM FØLGE AF KLIMAFORANDRINGER



Kilde: Energy Transition Commission og EEA, 2024.

REGNINGEN FOR IKKE HANDLING VOKSER ÅR FOR ÅR

I takt med temperaturstigningerne kan det europæiske energisystem blive sat på en række nye prøver. Den store spidsbelastning i store dele af Europa kan gå fra vintre til somre, fra opvarmning fra afkøling. Infrastrukturen skal være robust, så den kan modstå oversvømmelser, erosion, vilde skovbrande mv. Vi skal have flere energikilder at trække på, opbygge større energilagere og have stærkere netforbindelser over EU-landenes grænser. EU-landene skal i tørkeperioder med lavvande i floderne kunne håndtere afbrydelser i atomkraftværker eller pludselige fald i vandkraften, så der ikke opstår lange elafbrydelser, der vil ramme anden kritisk offentlig infrastruktur. Større klimarobusthed bliver en faktor, man er nødt til at tage højde for ved den næste bølge af investeringer i kritisk infrastruktur, nye transmissions- og distributionsnet, vindmøller, solcelleanlæg, jordvarmeanlæg mv. Se figur 14.

Førlænger vi den fossile vej og reducerer vi ikke udledningen af drivhusgasser hurtigt nok, kan det udløse klimatiske tipping points, hvor menneskeheden ikke længere er herre over sin egen fremtid.

VORES CO₂ -BUDGET SLIPPER SNART OP

Handlerummet er blevet markant indskrænket i løbet af de sidste få år, og vi er ved at nå ned på en kritisk grænse. I 2023 blev der globalt udledt 55 mia. ton drivhusgasser - 40,7 mia. ton var CO₂. Alene CO₂-udledningerne fra det fossile energisystem nåede op på 36,8 milliarder ton, hvilket er en stigning på 1,1 pct. i forhold til året inden, viser rapporten *Global Carbon Budget*, der er udarbejdet af en række førende internationale forskningsinstitutioner.²⁰

De har også regnet på, hvor stort verdens resterende CO₂-budget er. Hvis vi med 50 pct. sandsynlighed skal holde os sikkert indenfor 1,5 graders målet, var der ved indgangen til 2024 kun et globalt CO₂-budget tilbage på 200 mia. ton CO₂, viser den seneste opgørelse. Se figur 15.

Vores resterende CO₂-budget er reelt halvt så stort som da man gjorde tallene op for

FIGUR 15. GLOBALT CO₂-BUDGET, I FORSKELLIGE SCENARIE

Resterende CO ₂ -budget, case	Basisår	Estimeret restbudget ift. basisår (GtCO ₂)				
		17%	33%	50%	67%	83%
Sandsynlighed for at overskride klimaets globale temperaturgrænse						
1,5 °C fra AR6 WGI	2020	900	650	500	400	300
+ AR6 scenarier	2020	750	500	400	300	200
+ Opdateret klimaestimat	2024	450	300	200	150	100
1,7 °C fra AR6 WGI	2020	1450	1050	850	700	550
+ AR6 scenarier	2020	1300	950	750	600	500
+ Opdateret klimaestimat	2024	1000	700	550	450	350
2 °C fra AR6 WGI	2020	2300	1700	1350	1150	900
+ AR6 scenarier	2020	2200	1650	1300	1100	900
+ Opdateret klimaestimat	2024	1900	1400	1100	900	750

Kilde: Forster, Piers M. m.fl., *Indicators of Global Climate Change 2023*, opdateret 5. Juni 2024

fire år siden, og årsagen er, at menneskeheden i stedet for at reducere udledningerne, har øget dem. Det betyder bare, at vi nu har ekstremt travlt med at ændre kurs.

Skal budgettet fordeles ens til hver enkelt af verdens næsten 8,2 mia. indbyggere, kan hvert enkelt individ i resten af dette århundrede kun udlede 24,4 ton CO₂. Med en uændret adfærd går verdens befolkning allerede gennem loftet i 2029. Det kræver en voldsom opbremsning at ændre kurs inden.

Reelt bør det gå endnu hurtigere for os som danskere. Hvis vi skal tage ansvaret for vores historiske CO₂-udledninger, har vi allerede opbrugt vores fair andel for flere år siden. Men hvad betyder det, hvis vi i stedet ønsker at bevare vores nuværende andel af de globale CO₂-udledninger, dvs. cirka 0,08 pct. af de samlede udledninger? I givet fald vil Danmarks restbudget allerede være opbrugt i 2029, hvis vi fra nu af sænker vores udledninger lineært i en reduktionssti frem mod nettonul samfundet i 2045.

I dette regnestykke er dog ikke medregnet de 20 mio. tons CO₂, der i øjeblikket kommer fra afbrænding af biomasse, og de cirka 4 mio. tons CO₂ fra de brændsler, der fyldes i tanken på de udgående

Danmarks rest CO₂-budget vil være opbrugt i maj 2027, hvis vi også tager ansvar for afbrændingen af fast træbiomasse og vores internationale transport. Hvis man tager udgangspunkt i danskernes forbrugsbaserede aftryk, er Danmarks restbudget allerede opbrugt i 2026.

internationale fly- og skibsture fra Danmark. Hvis disse udledninger regnes med, vil vores restbudget i en lineær reduktionssti være opbrugt allerede i maj 2027.

Tallene understreger, hvor meget det haster med at få nedbragt de danske udledninger af drivhusgasser. Der er ikke længere en hockeystav at tage fat om. Der er brug for substantielle og hurtige adfærdsændringer i produktion og forbrug i de næste få år. Det er for sent, hvis man venter til engang i 2030'erne på, at der opstår et eventuelt gennembrud indenfor CO₂-fangst, eller at man gennem øget skovrejsning fra slutningen af 2030'erne kan suge noget af den CO₂ ud af atmosfæren, der i 2010'erne og 2020'erne er sendt ud i atmosfæren fra afbrænding af fast træbiomasse. Der skal handles nu og hurtigt, hvis vi skal holde os indenfor eller tæt på 1,5 grader.

Hvis man derimod satser på, at det går an at holde sig under 1,7 graders temperaturstigning, er det globale karbon restbudget 550 mia. ton CO₂. Ved 2 grader inden udgangen af det 21. århundrede er restbudgettet 1100 mia. ton. Selv hvis man politisk finder det opportunt at slække på indsatsen på denne måde, er der ikke mange år at løbe på. Hvis Danmark skal tage ansvar for sine udledninger fra afbrænding af biomasse og bunkring til international transport, vil vores budget i 1,7 graders rammen slippe op i sensommeren 2033.

Hver 0,1 grads temperaturstigning tæller, og da vi ikke bare kan antage, at alle lande lever op til deres løfter og forpligtelser, bør Danmark for en sikkerheds skyld hellere operere med en vis margen. Det vil derfor være rettidig omhu at sætte ekstra fart på omstillingen væk fra fossile brændsler. Tiden er ekstremt knap, og det tager tid at iværksætte og implementere nye grønne reformer.

FN's miljøorganisation, der gør status over verdens klimapolitik i sin årlige **Gap Emissions Report** anbefaler, at vi fra 2024 og fremefter mindst reducerer vores udledning af drivhusgasser med 8,7 pct. hvert eneste år.²⁴ Hvis hele verden gør det, kan vi stadig med – 50 pct. sandsynlighed holde os indenfor Paris-målet om maksimale temperaturstigninger på 1,5 grader. Men de 8,7 pct. er ikke relative reduktioner. Det er absolutte reduktioner af drivhusgasserne. Så selv om lande eller virksomheder vokser økonomisk, skal de stadig sænke mængden af drivhusgasser i absolutte tal. Dette er ikke en let øvelse. Under Covid-krisen, hvor mange landes økonomier lukkede ned i flere måneder, lykkedes det f.eks. kun at reducere de globale udledninger med 4,7 pct. i 2020 sammenlignet med året forinden.

Nogle lande vil ikke leve op til UNEP's anbefalinger. En række udviklingslande håber på at få højere økonomisk vækst og at nyde godt af et større energiforbrug i de kommende år. Det er kun fair og rimeligt, så flere mennesker kan trækkes ud af fattigdom. Omvendt bør de rige nordvesteuropæiske og nordamerikanske samfund – der historisk og samlet set har stået for de største udledninger – også trække en større del af det samlede læs. Se *tekstboks og figur 16*.

VI SKAL TILBAGE PÅ SPORET OG I FRONT

Danmark har de rette forudsætninger for at blive en rollemodel for resten af Europa og vise, hvordan man griber det an. Vi har en række globale grønne frontløbervirksomheder, der kan levere de

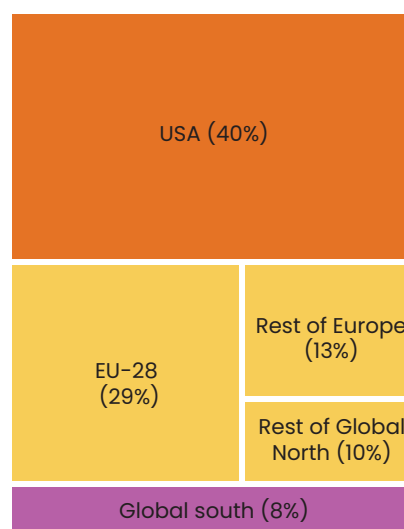
DET SKÆVE FORHOLD MELLEML NORD OG SYD

Det er i høj grad det globale nord, som bærer ansvaret for den klimakrise og de planetære ubalancer, som Jorden i dag befinder sig. Den anerkendte forsker, Jason Hickel, har regnet på, hvilke lande der samlet set og siden 1850 har udledt flest drivhusgasser – inklusive de sidste 55 års forbrugsbaserede CO₂-udledninger. Beregningen viser, at USA alene er ansvarlig for 40 pct. af de globale CO₂-emissioner. EU og Storbritannien er tilsammen ansvarlige for 29 pct. Sammen med Europa, Canada, Australien, New Zealand, Israel og Japan er det globale nord som gruppe ansvarlig for 92 procent af klimakrisen, mens det globale syd blot har ansvaret for 8 pct.

Det globale nords ansvar for klimakrisen afspejler sig også i en klar skævvridning i forhold til udledningen af drivhusgasser i dag. Ifølge IPCC er det i dag omkring 35 pct. af verdens befolkning, som lever i lande, hvor hver indbygger udleder over ni ton CO₂ om året. Langt de fleste af de lande er på den nordlige halvkugle.

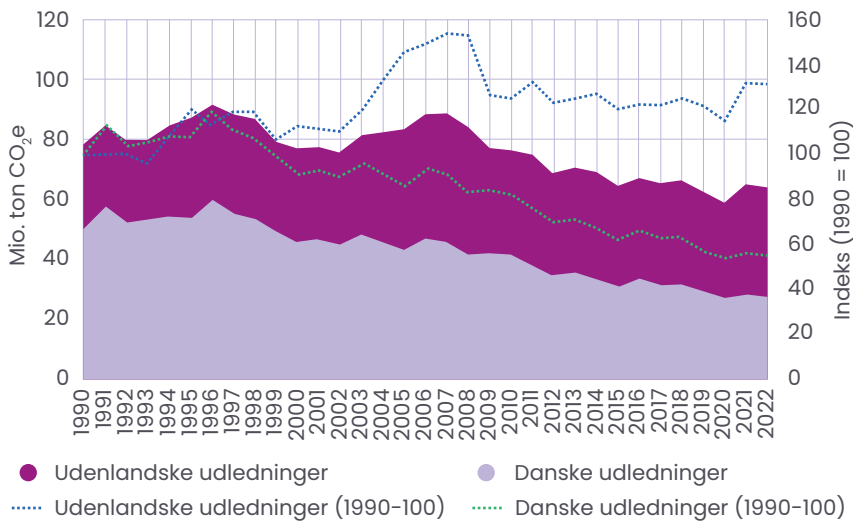
Omvendt bor 41 pct. af verdens befolkning i lande, hvor klimaaftrykket pr indbygger ligger under tre ton CO₂ om året. Og langt hovedparten af de lande ligger på den sydlige halvkugle – i Afrika, Asien og Latinamerika.

FIGUR 16. ANSVAR FOR KLIMASAMMENBRUD, HISTORISK.



Kilde: Hickel, J. *Quantifying national responsibility for climate breakdown: an equality-based attribution approach for carbon dioxide emissions in excess of the planetary boundary*, *The Lancet*, Volume 4, ISSUE 9, e399-e404, September 2020

FIGUR 17. FORBRUGSBASEREDE UDLEDNINGER – I DANMARK OG FRA IMPORTEREDE VARER, MIO. TONS CO₂E.



Kilde: Energistyrelsen, Global Afrapportering 2024: Klimaaftrykket fra forbrug. Baggrundsnotat nr. 1

nye klimavenlige og energieffektive løsninger, verden har brug for. I 2023 eksporterede de energi- og miljøteknologier for over 87 mia. kr., og flere af dem er store spillere på det globale marked. De har udsigt til kraftig vækst i de kommende år i takt med, at flere og flere lande får travlt med at nedbringe deres udledning af drivhusgasser og omstille til grønne og energieffektive teknologier.

Det er også vigtigt, at Danmark leder med eksemplets magt. I mange år har vi kunnet bryste os af at være en grøn frontløberation, og vi har i flere år ligget i toppen af globale grønne ranglister som bl.a. Yale universitetets Environmental Performance Index. Men i 2024 er Danmark faldet ned på en beskedne 10. plads i Yales rangliste, fordi andre nationer har sat mere ambitiøse mål og løber hurtigere, end vi gør.

Danmark lever allerede langt hinsides de planetære grænser. Vores forbrugsbaserede udledninger af drivhusgasser er mellem 11 og 13 tons per dansker om året.²² Det betyder med andre ord, at vores CO₂ restbudget reelt løber ud allerede i begyndelsen af 2026. En stigende del af udledningerne knytter sig til import af varer fra udlandet og den indlejrede energi i de importerede varer. Se figur 17.

Hvis alle i verden levede som vi danskere, vil det kræve 4,2 jordkloder. Og hver dansker har et materialeforbrug på 25,3 tons om året, og det er godt 11 tons mere end gennemsnittet af EU-borgere. Det danske materialeforbrug er steget med 14 pct. i det sidste årti. Især vores forbrug af biomasse, men også vores forbrug af fossil energi og ikke-metalliske mineraler – bl.a. sand og grus – ligger væsentligt over EU-gennemsnittet.

Danmarks indlejrede energiforbrug er historisk højt, fordi vi har et af de højeste fodaftryk blandt EU-landene, og som nation opererer vi langt hinsides de planetære grænser. Danmark ligger i toppen af EU-landene målt på CO₂-aftryk pr indbygger, kun overgået af Luxembourg. Se figur 18.

Det ser man f.eks. i byggeri og anlæg, der står bag 31 pct. af Danmarks samlede materialeforbrug og tegner sig for omkring 30 pct. af det samlede danske klimaaftryk. To tredjedele af byggeriets samlede klimaaftryk stammer fra energiforbrug, og den sidste tredjedel er det såkaldt indlejrede CO₂-klimaaftryk fra alle de ressourcer og materialer, som produceres til og bruges i byggeriet. I sidste ende er det meste indlejret energi, som er brugt til at fremstille materialerne. Det er en stor udfordring at nedbringe byggeriets

klima- og ressourceaftryk, men det er ikke umuligt. Se tekstboks:

Danmark har et lovmæssigt klimamål for 2030 om at nå 70 procents reduktion for vores nationale udledning af drivhusgasser, og regeringen vil bringe Danmarks udledninger ned til nettonul senest i 2045, og sikre 110 pct. reduktioner i 2050. Disse politiske hensigtserklæringer er dog endnu ikke skrevet ind i klimaloven. Klimarådet har anbefalet, at disse mål indskrives i klimaloven, og at Danmark tager ansvar for sin andel af energien til international fly- og skibstransport. Et klart og lovfast styringsmål er et vigtigt instrument, og det bør følges op af et klart reduktionsmål for henholdsvis 2035 og 2040. Senest i 2025 skal der opstilles et mål for 2035, og det er vigtigt at fastholde et højt ambitionsniveau.

Indtil nu har politikerne har haft svært ved at nå de fastsatte mål, selv om der er gennemført mange grønne reformpakker. Men de store og svære beslutninger er ofte udskudt til senere. Der sælges stadig mange nye fossilbiler og gasfyr, antallet af flyrejser stiger fortsat, og politikerne har tilladt mere udvinding af olie og gas i Nordsøen, selv om det bidrager til at forstærke klimakrisen. Samtidig kniber det ofte med at sikre en hurtig implementering, selv om det er afgørende for at nå i mål. I industrien er der indført en CO₂-afgift, der stiger til 1125 kr. pr. tons i 2030, men i transporten er udledningerne steget, og i landbruget kniber det med at få nedbragt udledningerne.

Transportsektoren står i dag bag 28 pct. af Danmarks totale udledninger, og sektoren kan få en stigende andel, fordi andre sektorer reducerer deres klimabelastning. I 2030 kan transporten i Danmark stå bag omkring 35 pct. Og det endda uden at medtage de drivhusgasser, der udledes fra Danmarks internationale transport med fly og skibe.

Landbrugssektoren inkl. lavbundsgrunde udleder i dag omkring 14 mio. tons CO₂ om året og står dermed for mere end en tredjedel af Danmarks samlede udledninger af drivhusgasser. Udledningerne fra landbrug, skov, gartneri og fiskeri forventes at udgøre hele 45 procent af vores klimaaftryk i 2030 – fordi landbruget ikke som i andre sektorer i dansk erhvervsliv har fremlagt en klar og

realistisk plan for klimareduktioner. Udledningerne stammer i høj grad fra kød- og mælkeproduktionen.

Den seneste klimafremskrivning fra foråret 2024 viste, at man på papiret er på vej til at indfri klimalovens mål for 2025- og 2030. Den såkaldte reduktionsmanko, som er det, der skønnes at mangle i 2030 for at indfri 70-procentsmålet, ligger på 1,5 mio. ton CO₂e og 2025-målet på 50-54 pct. reduktion ventes opfyldt med en reduktion på ca. 55,5 pct. Vi er altså tæt på den politisk fastsatte målstrøg.

Sidste år lå reduktionsmankoen stadig på 5,4 mio. ton CO₂e. Reduktionen i den nye fremskrivning, der er bragt ned på ca. 1,5 mio. ton CO₂e er ikke hentet ved, at man har gennemført store klimapolitiske beslutninger og tiltag. Samlet set er 2,3 mio. ton af de forventede reduktioner kommet, fordi træernes klimaeffekt fremskrives på en ny måde. Desuden er der nye beregninger for lavbundsjordene, der ventes at udlede 1,9 mio. ton mindre CO₂ de kommende år end ved 2023-fremskrivningen. Ikke fordi de aktivt er blevet vådlagt, men fordi kulstofindholdet på store arealer er gasset hurtigere af end hidtil forventet, så de nu ligger under den nedre rapporteringsgrænse på 6 %.

Dertil er en stor del af de reduktioner, vi har brug for de kommende år, lagt an på teknologier og beregninger, hvis reelle

effekt endnu er usikker. Her er det særligt CO₂-fangst, som må siges at være en ubekendt faktor. Man regner med at skulle fange 3,2 mio. ton. Fra 2030, men der er stadig en del usikkerhed forbundet med, om det lykkes. Ved det seneste NECCS-udbud måtte man lave en nedjustering fra 0,5 mio. ton biogen CO₂ til blot 160.350 ton, som forventes lagret fra 2026.

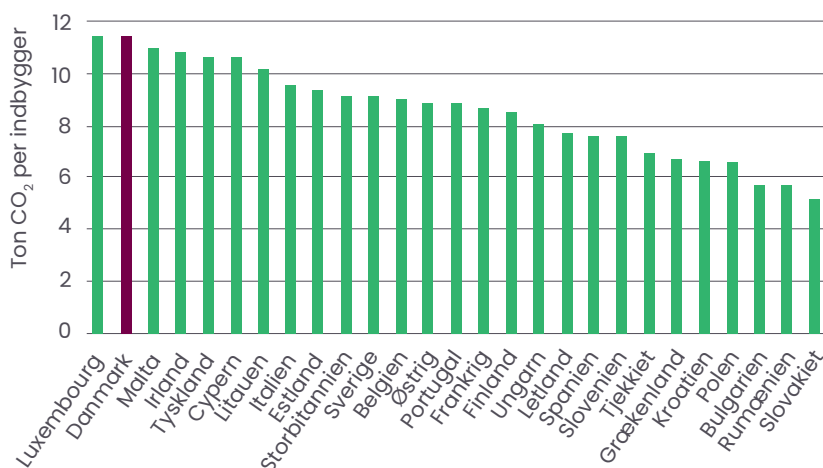
Der er fortsat betydelig usikkerhed om udledningerne fra lavbundsjordene, og nye tal kan gå den anden vej, hvilket taler for, at det vil klogt at operere med en vis sikkerhedsafstand til klimamålet.

I den grønne trepartsaftale for landbruget vil man først at løfte CO₂-afgiften op på 750 kr/ton i 2035 og oveni give et klækkelig bundfradrag på 60 pct. Det gør, at landbruget ikke kommer til at trække så stor del af læsset i klimapolitikken som andre erhverv. Man håber dog, at landbruget - gennem investeringer i nye teknologier, nye staldanlæg, fodertilsætningsstoffer og biokul fremstillet via pyrolyse - frem mod 2030 kan reducere sine udledninger med 1,8 mio. ton i 2030 stigende til 3,3 mio. ton i 2035.²³ Politikerne vil give hele 10 mia. kr. i støtte til pyrolyse, men det må stadig betragtes som en uafprøvet teknologi med usikre klimaeffekter. Og desuden er der potentielt negative sundhedsmæssige konsekvenser. Risikoen er, at man brænder mange skatte kroner af på en teknologi, der - hvis man bruger træ eller

HVOR MEGET OG HVAD KAN VI BYGGE?

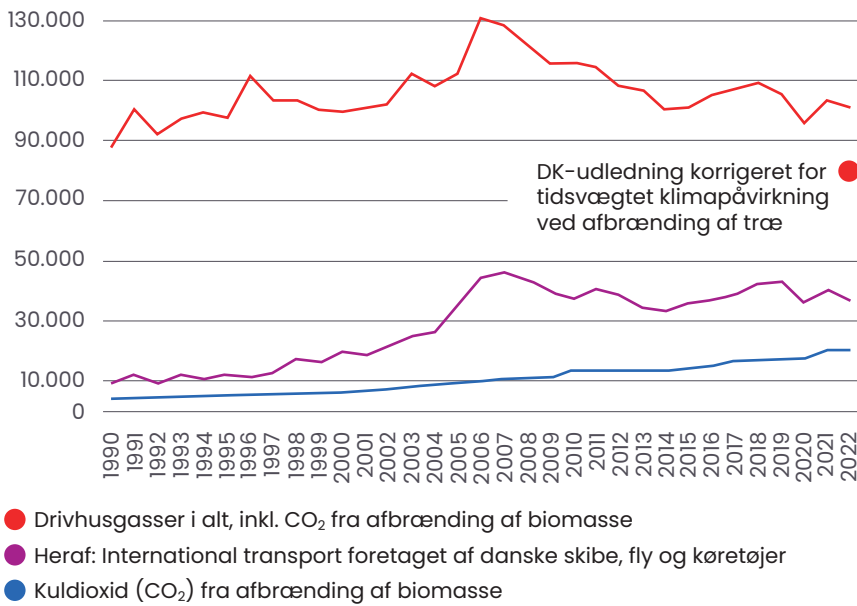
Kigger man på gennemsnittet for en dansk bygnings klimaaftryk er det i dag 9,6 kg CO₂ pr. m² pr. år, baseret på medianen for CO₂-udledning af dansk byggeri over en 50-årig periode. Hvis nyt byggeri i Danmark skal holde sig inden for FN's Parisaftale, skal udledningen reduceres til 0,3 kg CO₂ pr.m² pr. år i 2030. Det fremgår af det såkaldte Reduction Roadmap, som er udviklet i et tværfagligt samarbejde mellem rådgiverne EFFEKT, CEBRA og MOE og en række af Danmarks førende forskere i byggeri og klima (herunder Steffen Petersen fra Aarhus Universitet, Harpa Birgisdottir fra Aalborg Universitet, Morten Ryberg fra DTU og Morten Birkved fra Syddansk Universitet). Det er muligt at nå så langt ned i nye byggerier, men ofte vil det være bedre for klimaet slet ikke at bygge nyt, men blot at transformere og energirenovere den gamle bygningsmasse.

FIGUR 18. EU-LANDENES FORBRUGSAFTRYK



Kilde: JPC (2022)

FIGUR 19. UDLEDNING AF DRIVHUSGASER FRA DANSK ØKONOMI, 1000 TONS



Klimarådet har foreslået en metode til at kvantificere klimapåvirkningen fra træ-energi, hvor tallene bag diskonteres over 100 år. Det fører til en emissionsfaktor på knap 45 kg CO₂/GJ – eller ca. 42 % af kul og 68 % af naturgas – alle tal inkl. opstrøms-emissioner til udvinding, processering og transport af brændslet til forbrugssted. Lægges denne emissionsfaktor til grund er den samlede klimapåvirkning fra dansk forbrug af træ til energi nu ca. 5,8 mio. ton. Der er dog langt fra videnskabelig enighed om klimapåvirkningen af træ-energi eller metoder til at beregne den. Ea Energianalyse har i denne rapport taget udgangspunkt i et konservativt estimat, hvor den tidsvægtede klimaeffekt ved afbrænding af biomasse er ca. 4 mio. ton. Hvis man anvender en diskontering over 20 år, er den negative klimaeffekt ved afbrænding af træbiomasse en del højere.

Kilde: Rådet for Grøn Omstilling, 2024. Egne beregninger på baggrund af tal fra Danmarks Statistik.

afgasset biomasse som *feedstock* - først leverer reelle klimagevinster om 30-40 år, hvis naturlig kulstoflagring ved den anvendte biomasse modregnes.²⁴

Regeringen har tilsyneladende overset, at EU Kommissionen ventes at foretage en sådan modregning. Pyrolyse på energiafgrøder og halm kan godt give en hurtigere klimaeffekt, men der er begrænsede bioressourcer til rådighed, og der er grænser for, hvor meget teknologien kan skaleres.

TEKNOLOGIVALG OG STRUKTUREL OMSTILLING

I Danmark bruges allerede betydelige statslige midler på at fremme grønne teknologier. Mest markant er i forhold til CO₂-fangst, som er gjort til af hovedsøjlerne i dansk klima- og energipolitik. Der er bevilget over 38 mia. kr. frem til 2040 for at skalere denne teknologi op og treparts-aftalen lægger op til at give 10 mia. til pyrolyse/biokul. Men fangsten på industrielle punktkilder er ikke så effektiv, fordi de reelle fangstrater stadig ligger væsentlig under det forventede. Det er en både dyr og meget energikrævende

teknologi, der i værste fald kan forsinke udfasningen af de fossile brændsler. De store statslige støttebeløb til CO₂-fangst og -lagring kunne alternativt bruges til investere i de grønne energiløsninger, som kunne sikre en hurtigere udfasning af de fossile brændsler og træ.

Det er muligt, at CO₂-fangst i løbet af 2030'erne kan komme til at spille en vis rolle på områder, som bl.a. cementproduktion, hvor det kan blive svært at nå en 100 pct. dekarbonisering. Men i de næste 5-10 år kan Danmark opnå større klimaeffekter ved at målrettet investere i en lang hurtigere skalering med sol, vind, batterier og varmepumper samt nye klimavenlige fødevarer. Og udfordringen er stor.

Danmark er stadig dybt afhængig af fossile brændsler i vores energisystem, hvor olie, naturgas og kul knap 53 pct. af Danmarks bruttoenergiforbrug, og de er hovedmotoren bag de nationale udledninger af drivhusgasser. Selv om vi har fået meget mere vedvarende energi, udgør biomasseafbrænding omkring 2/3 af den samlede produktion af vedvarende energi. Og sol- og vindenergi dækker kun cirka 10 pct. af Danmarks bruttoenergiforbrug

– hvis man medregner den energi, der fyldes på skibe og fly i Danmark. Det viser, at Danmark stadig hænger fast i forbrændingssamfundet. Vores forbrug af biomasse til energi er mere end fire gange større end i 1995, og især skovflis og træpiller fylder. En medvirkende årsag til den eksplosive udvikling er, at der i flere år er givet statsstøtte til kraftværker, der brænder træer og halm af for at konvertere det til elektricitet.

Straksudledningerne fra afbrændingen af biomasse tælles kun med i Danmarks nationale klimaregnskab for træ fældet i Danmark. Det sker i det såkaldte LULUCF-regnskab, der indgår 1:1 i det samlede klimaregnskab. LULUCF-regnskabet udskiller dog ikke det CO₂ og kulstof-tab i skovene, som afbrænding af træ fører til. Over halvdelen af træ-energiforbruget importeres, og det belaster LULUCF- og klimaregnskaber i oprindelseslandene. Straks-udledningerne fra afbrænding af biomasse i Danmark er over 20 mio. tons CO₂ om året, men netto er klimapåvirkningen væsentlig lavere, fordi noget af biomasse alternativt hurtigt ville rådne og udlede CO₂. Træenergiforbruget har den højeste klimapåvirkning,

fordi Danmark bruger meget stammetræ, som kan være århundreder om at vokse op igen, og fordi selv fældningsrester rådner relativt langsomt. Den tidsvægtede klimapåvirkning fra dansk træ-energiforbrug er mellem 4-5,6 mio. t CO₂e om året, afhængig af hvilken metode og hvilke antagelser, der anvendes. Hvis man både tæller det med og også medtager udledningerne fra danske fly og skibes internationale transport, er udledningerne fra dansk økonomi stort set de samme som i 1990. Skal vi tage ansvar for disse udledninger, er klimaudfordringen til dansk økonomi cirka dobbelt så stor, som de mål, der er fastsat i klimaloven. Se figur 19.

Dette understreger, hvor svær udfordringen er for det danske samfund. Et skønmaleri af tingenes tilstand er ikke hjælpsom. Dansk klima- og energipolitik bør tage udgangspunkt i et realistisk og nøgternt billede af virkeligheden. Danmark har på en række punkter mistet den grønne frontløberposition, som vi tidligere med en vis ret kunne gøre krav på. Den gode nyhed er dog, at den kan generobres igen.

Det kræver frem for alt, at vi i de næste få år accelererer omstillingen væk fra fossile energikilder og afbrændingen af fast træbiomasse. Desuden må forbrug og produktion af animalske fødevarer begrænses væsentligt for at nå i mål. Samtidig skal de øvrige natur- og miljøkriser løses, og vores store ressourceforbrug skal nedbringes, hvis Danmark igen på troværdig vis skal indtage sin position som en grøn frontløbernation. Det er heldigvis inden for vores rækkevidde.

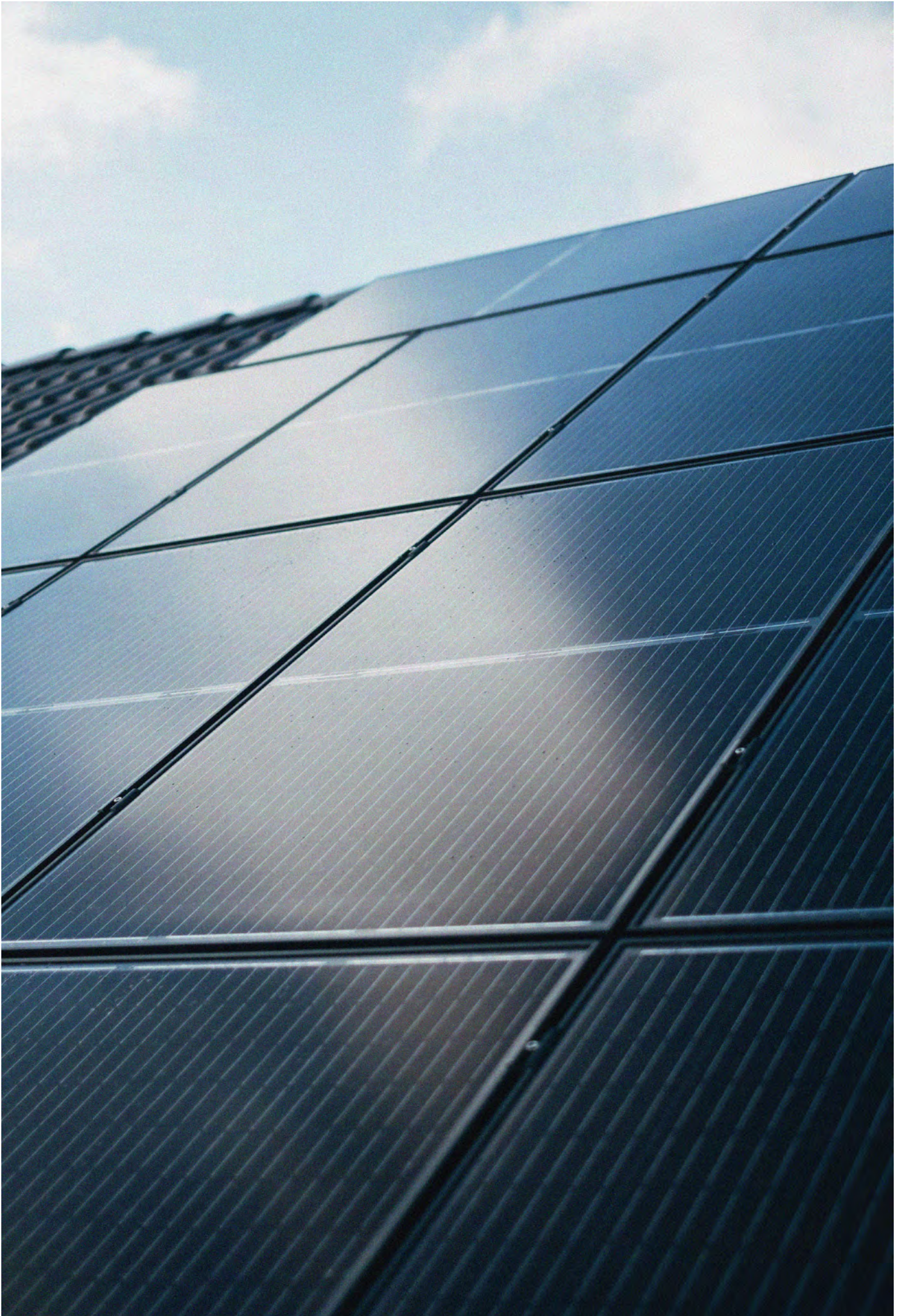
Det danske samfund har aldrig haft en højere velstand, og der er et betydeligt statsfinansielt råderum. Økonomisk og teknologisk er det muligt at lave en hurtig afkobling fra den fossile afhængighed, men det kræver en målrettet politisk reformindsats, handlekraft og implementering.

I denne energirapport er der opstillet et dansk transformationsscenario, der viser, hvordan Danmark kan reducere sine absolutte udledninger med mere end 8,7 pct. om året, så Danmark bliver et nettonul-samfund i 2040. (Se de konkrete anbefalinger i kapitel 6). Vælger politikerne at følge transformationssceneriet frem mod 2040, kan Danmark spare atmosfæren cirka 207 mio. tons CO₂ i forhold til, hvis man følger regeringens klimapolitik.

Opgaven er at lave en langt mere ambitiøs udbygning med vedvarende energi, elektrificering af samfundet og energieffektiviseringer *samtidig* med at man går håndfast til værks for at udfase og stoppe alle teknologier, der drives af fossile brændsler. Det gælder om at accelerere de grønne teknologier og løsninger kraftigt, samtidig med at man laver en hård opbremsning af det fossile forbrug.

KILDE

1. EEA, European Climate Risk Assessment, EEA Report No 1/2024, 11. Marts 2024.
2. IPCC; Sixth Assessment Report, The physical science basis, technical summary. 2021.
3. Elhacham, E. m.fl. Global human-made mass exceeds all living biomass, *Nature* 588, 442–444 (2020).
4. Richardson, K. m.fl., Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances* 9, eadh 2458, 2023.
5. Global Carbon Budget 2023; <https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/#section3>
6. Gatti, L.V. m.fl. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595, 388–393, 2021.
7. Mowbray, S., Beyond climate: Oil, gas and coal are destabilizing all 9 planetary boundaries, Mongabay, 14. november 2023. <https://news.mongabay.com/2023/11/beyond-climate-oil-gas-and-coal-are-destabilizing-all-9-planetary-boundaries/>
8. Spokas, K., & Wang, D. Stimulation of nitrous oxide production resulted from soil fumigation with chloropicrin. *Atmospheric Environment*, 37(25), 3501–3507, 2003. Casazza, M. m.fl., The Tenth Planetary Boundary: To What Extent Energy Constraints Matter, *Journal of Environmental Accounting and Management*, 4 (4), 2016, 399–411, Februar 2017.
9. Bachmann, M. m.fl., Towards circular plastics within planetary boundaries, *Nature Sustainability*, Vol. 6, maj 2023.
10. Energy Institute – Statistical Review of World Energy, 2024.
11. Bumsuk Seo et al, Bioenergy in Europe is unlikely to make a timely contribution to climate change targets, *Environmental Research Lett.* 19, 8 marts 2024.
12. EASAC, **Forest bioenergy update**: BECCS and its role in integrated assessment models, februar 2022.
13. Weidner, T. & Guillén-Gosálbez, G., Planetary boundaries assessment of deep decarbonization options for the building heating in the European Union, *Energy Conversion and Management*, Vol. 278, 15. Februar 2023.
14. Stranddorf, L.K. m.fl., Evaluation of life cycle impacts of European electricity generation in relation to the Planetary Boundaries, *Sustainable Production and Consumption*, 39, 414–424, 2023.
15. Jacobson, Mark Z, No Miracles Needed, 2023. Han vurderer, at gennemsnitlige effektivitet på årsbasis er mellem 20–80 pct.
16. Romm Joseph, Why scaling bioenergy and bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) is impractical and would speed up global warming, A University of Pennsylvania Center for Science, Sustainability, and the Media White Paper, November 2023. <https://web.sas.upenn.edu/pcssm>.
17. Bennun, L. m.fl. Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development Guidelines for project developers, IUCN, 2021.
18. Richardson, K. et al., Earth beyond six of nine boundaries. *Science Advances*.9, eadh 2458, 2023. [10.1126/sciadv.adh2458](https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458)
19. Forster, Piers M. m.fl., Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence, *Earth System Science Data*, Volume 16, issue 6, 2625–2658, 2024, (updated 5 Jun 2024) Gatti, L.V., Basso, L.S., Miller, J.B. et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595, 388–393 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
20. United Nations Environment Programme, Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again), sd. 43, 2023. <https://doi.org/10.5917/20.500.11822/43922>.
21. Energistyrelsen vurderer, at Danmarks globale forbrugsaftryk er ca. 11 tons pr. indbygger pr. år, mens tænketanken CONCITO vurderer, at det er 13 tons pr. indbygger pr. år.
22. Aftale om et Grønt Danmark
23. Rådet for Grøn Omstilling, **Pyrolyse og biokul**. En klimaløsning eller en miljøudfordring?, juni 2024.



Den grønne energirevolution. Forstå S-kurverne

Vi står midt i en grøn energirevolution. I de sidste ti år er den årlige udbygning med solenergi på globalt plan steget seks gange, og vindenergien er steget med over tre gange. Batterisalg fordobles hver 2-3 år, og deres energiintensitet stiger i et tempo, så det kan revolutionere ikke bare bilsektoren, men også energisystemet, industrien og måske tung transport på de lange distancer. Vi står midt i den største og hurtigste teknologiudvikling siden Anden Verdenskrig, og den kan *disrupte* det fossile energisystem, og det vil få skelsættende betydning for alle dele af samfundet.

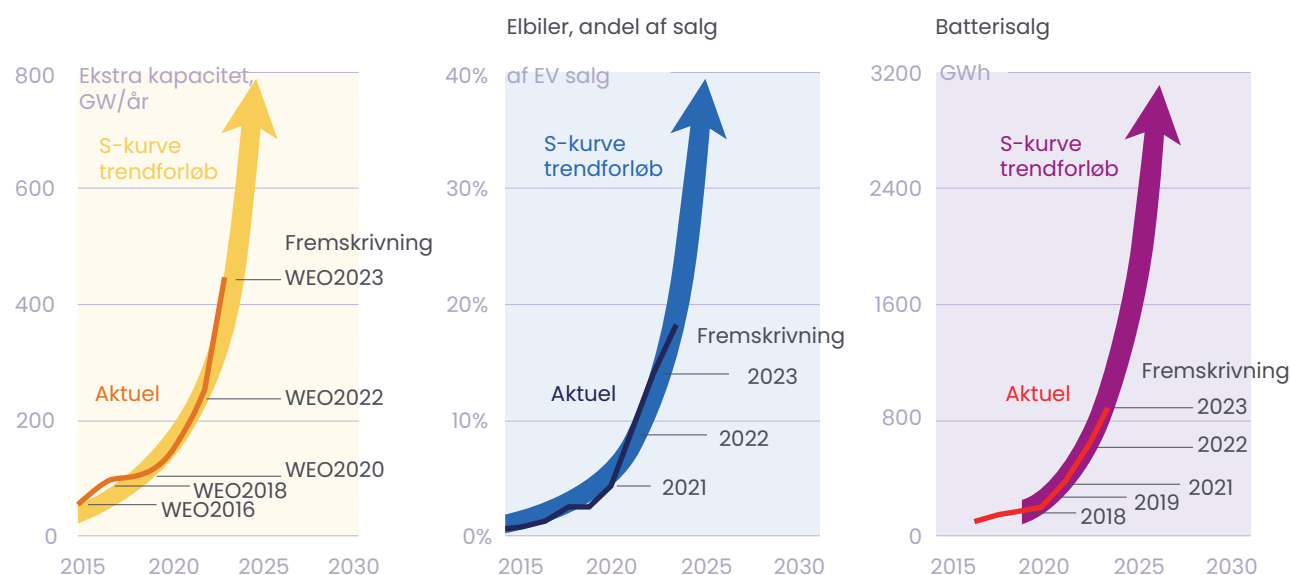
Mange af traditionelle mainstreamanalyser, økonomiske og teknologiske fremskrivninger har i mange år dog konsekvent undervurderet, hvordan sol, vind, batterier og elbiler vokser eksplosivt, og hvordan priserne samtidig tvinges længere og længere ned for hver fordobling i mængderne. Man har overvurderet omkostningerne ved VE, samtidig med at man har

undervurderet prisfaldet, væksten i salget og innovationskraften for sol, vind og batterier. Denne monumentale fejlurdering har samtidig ført til, at de fossile brændslers relative konkurrenceevne er blevet sat i et meget bedre lys, end de burde være. Og det har fået politiske og økonomiske beslutningstagere til at være alt for langsomme med at udfase den fossile energi eller at droppe investeringer i fossile energiprojekter.

Det haster med at få opdateret vores økonomiske modeller og teknologiske prognoser, for de grønne energiteknologier har i en årrække udviklet sig i eksplosive S-kurver, der har sprængt alle forventninger. Se figur 20.

Hovedårsagen er, at sol, vind og batterier er granulære og velforprøvede teknologier, der masseproduceres og hurtigt kan skaleres på markedet. Det har både udløst store prisfald og

FIGUR 20. MAINSTREAM MODELLER UNDERVURDERER HASTIGHEDEN I GRØN OMSTILLING



Kilde: RMI, 2023. På baggrund af aktuelle tal fra BNEF (sol og batteri) og IEA STEPS forecast.

banet vej for masser af innovation. Prisen på solceller og batterier faldt med 80 pct. på ti år frem til 2022 og prisen på offshore vind faldt med 73 pct. og landvind med 57 pct. Prisudviklingen for de vedvarende energikilder har i store træk fulgt den såkaldte Wrights lov. Priserne for solceller er i snit faldet med cirka 28 pct. for hver gang, man har fordoblet den opstillede mængde af solenergi – fordoblingstiden er nu reduceret til omkring 2-3 år. Og solcellernes effektivitet er samtidig forbedret markant, og de er bedste solceller fremstiller nu 43 pct. mere energi pr. celle, end de gjorde i 2016. For vindenergi har prisfaldet været cirka 15 pct. for hver fordobling i mængden.

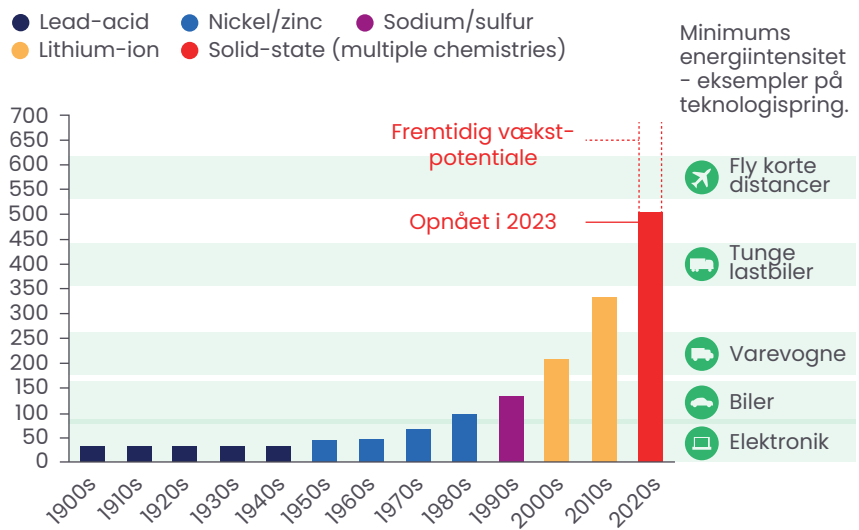
Indenfor batterier går det endnu hurtigere. Der skæres 19-29 pct. af prisen, for hver gang antallet fordobles. Oveni forbedres energiintensiteten i batterierne med 7-18 pct. for hver fordobling - et tempo, som få havde forudset. Det kinesiske selskab CATL, der også har fabrikker i Tyskland og Ungarn, er førende på markedet. De sætter konstant nye rekorder ift. batteriernes energiintensitet. De har nu udviklet et 500 Wh/kg batteri, der kommer på markedet i 2027, og i 2030 kan de største batterier på markedet måske nå op på måske 800 Wh/kg. For at sætte disse tal i perspektiv skal man have gerne have batterier på 350-400 Wh/kg til store lastbiler på lange rækkevidder, og ved 500-650 Wh/kg begynder det at være realistisk at elektrificere fly på korte og regionale distancer. Se figur 21.

BATTERIERNE KAN REVOLUTIONERE ENERGISYSTEMET

Batteriindustrien er ved at bygge 400 gigafabrikker rundt omkring i verden. Disse gigafabrikker vil iflg. tænketanken RMI have kapacitet til at levere 9 TWh batterier i 2030.¹ Dette tal svarer til en fjerdedel af Danmarks samlede elforbrug.

På globalt plan står kinesiske virksomheder bag over 80 pct. af verdens produktion af batterier, men EU og den europæiske batterialliance arbejder målrettet for at opbygge en stærk europæisk batteriindustri og at få udenlandske konkurrenter til at lokalisere sig i EU. Iflg. Transport & Environment kan den europæiske

FIGUR 21. BATTERIERS ENERGIINTENSITET PR. TIÅR, WH/KG



Kilde: RMI, 2024.

batteriproduktion blive løftet til 1,7 TWh i 2030, men mere end halvdelen af de annoncerede projekter kan blive aflyst eller udsat.²

Det er en ekstremt krævende opgave at opbygge en stærk forsyningskæde til de nye grønne industrier, som går fra minedrift til forædling og fremstilling, men rent geopolitisk er det vigtigt for EU at kunne blive mere selvforsynende med batterier. For det er en kritisk faktor for succes i den store grønne energirevolution.

Fra sektor til sektor vil batterierne brede sig og muliggøre en 100 pct. elektrificering.

Dominobrikkerne er allerede ved at falde i bilindustrien, hvor salget af elbiler i mange lande – herunder i Danmark- har overhalet nysalget af fossilbiler.

Den hastige udvikling i batteriteknologien – og den markante udvidelse af produktionskapaciteten – vil også kunne få en revolutionerende betydning for lagringen af den vedvarende energi. Energikrisen fik udviklingen til at tage ekstra fart, og flere private husstande og virksomheder har investeret i batterier til at bakke deres solceller op med.

Flere og flere lande er ved at forstå, at batterirevolutionen også kan give os en afgørende brik til at skabe et meget mere resilient energisystem.

Fra Kina, Australien til Kalifornien og en række EU-lande investeres der nu massivt i at opbygge store batteribaserede energilagre (BESS), som kan lagre den fluktuerende sol- og vindenergi, så man får mere forsyningsikkerhed. Kommissionens forskningsenhed, JRC, har således konkluderet i en analyse, at "batterier muliggør en bredere udrulning af fluktuerende vedvarende energi, også i sammenhæng med en stigende energi-uafhængighed fra Rusland."³

Der sker en hurtig skalering i markedet. Containerbaserede store batterier opstilles på stribe, kan mangedoble kapaciteten og skabe et mere stabilt net. Og priserne på denne type batterier er faldet kraftigt i pris. De såkaldte litium-jern-fosfat batterier (LFP) er i august 2024 faldet til omkring 358 kr/KWh i markedet, og det er langt billigere end de såkaldte nickel-mangan-kobolt batterier. (NMC) I 2020 sad NMC-batterierne på over halvdelen af markedet for batterilagring, men nu ser det ud til at de billigere og stabile LFP-batterier

“Vi står midt i en grøn energirevolution. (..) På blot ti år er prisen på solceller og batterier faldet med 80 pct., prisen på offshore vind med 73 pct. og landvind med 57 pct. ”

Hvor stort et energilager har Danmark brug for?

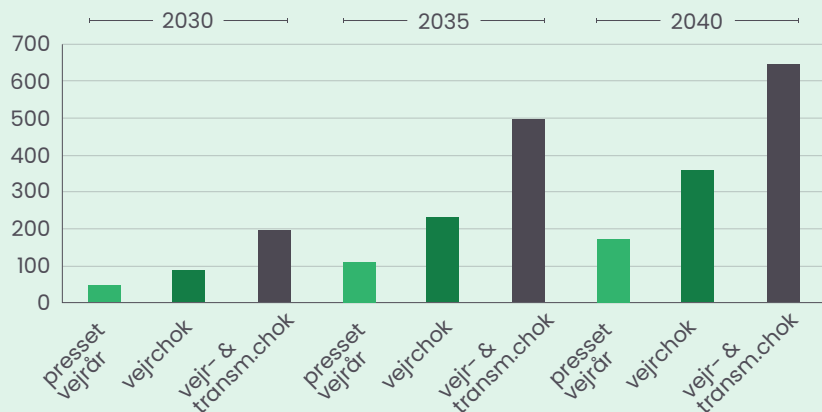
Der er mange måder at lagre energi på, som f.eks. vandkraft med pumpekraft eller varmelagre. Og disse kan få en vigtig rolle i et bæredygtigt energisystem, der er afhængig af fluktuerende energi som sol- og vind. Termiske lagre, hvor energi lagres i varme sten eller i smeltet salt, kan også blive et vigtigt bidrag til at lagre energi over lang tid. Man kan også satse i større grad på energilagring på batterier. Især langtidslagring på batterier (Li-ion, LFP, redox-flow, Na-S, jern-luft mv.) oplever en eksplosiv vækst i disse år, og de ser ud til at kunne få en stor rolle. Danmark er dog langt bagud i dette kapløb med langtidslagring på batterier. Men hvor stort skal det danske energilager være i et 100 pct. vedvarende energisystem?

Klimarådet har beregnet, at Danmark i et ekstremt år med et vejrchok kan få en maksimal effektmangel på op til 2,6 GW i 2030 – og den efterspurgte strøm, der ikke kan leveres grundet effektmangel i et sådant år, vil nå op på cirka 90 GWh. Det vil iflg. modelleringen kunne opstå i seks eller syv afgrænsede perioder, hvor nogle vil vare i fire timer og de længste kan vare op til 15 timer. Men det er til at håndtere med batterier, hvis man har tilstrækkelig mange af dem, og de har tilstrækkelig kapacitet. De store batterier til ellagring kan aflade 2, 4 og i nogle tilfælde op til 8 timer. Udfordringen kan dog stige over tid, og i 2035 kan det årlige behov stige til cirka 220 GWh og 350 GWh i 2040. *Se figur.*

Et år, hvor der er både et vejrchok og et transmissionschok – dvs. hvor solen ikke skinner og vinden ikke blæser i flere dage, og hvor nabolandene ikke kan levere tilstrækkelig el via kablerne over landegrænserne – vil dog være ret sjælden. Foreløbig behøver man næppe at planlægge efter, at vi rammes af et sådan vildt dobbeltchok. Desuden er det muligt at lave kontrollerede brown outs, hvor man i begrænsede perioder lukker ned for elforsyningen til afgrænsede områder. Via økonomiske incitament kan man også gøre det attraktivt for forbrugerne at spare energi, hvis der skulle opstå et sådan dobbeltchok.

Klimarådet anbefalede i en rapport i maj 2023, at Danmark i fremtiden bevarer en vis regulerbar kapacitet

FIGUR 22. AFBRUDT STRØM I DANMARK I TRE VEJR-SCENARIER



Anm. 1: Figurene viser den årlige afbrudte energimængde i Danmark i forskellige scenarier. Afbrudt strøm skal tolkes som mængden af efterspurgt strøm, der ikke kan leveres grundet effektmangel

Anm. 2: Figuren viser afbrudt strøm, såfremt der ikke implementeres tiltag for at sikre elforsyningens sikkerhed, ud over hvad der i udgangspunktet indgår i analysens antagelser for det danske og europæiske energisystem

Kilde: Klimarådet, maj 2023. Rapport: Sikker elforsyning med sol og vind.

med gaslagre og gasturbiner, der kan sættes i gang, når vi rammes af ydre vejrshok. Iflg. Klimarådets beregninger vil det koste mellem 3,9-6,5 mia. kr. om året at lave en sådan løsning med en kombination af ellagre og regulerbar gas. Men batterirevolutionen udvikler sig hurtigt, og det er ikke utænkeligt, at Danmarks energilager i fremtiden overvejende vil bestå af batterier.

Men hvor mange store battericontainere skal Danmark bruge for at kunne klare sig gennem et helt år med vejrchok – f.eks. i 2030 vi kan få behov for cirka 90 GWh? CATL's nye liti-um-jern-fosfat batterier, Tener, giver for eksempel et 6,25 MWh energilager i 20-fods container. Efter fem år og tusindvis af op- og afladninger ventes det stadig at kunne levere 6,25 MWh, hævder firmaet.

Lad os antage, at et sådant batteri kommer på markedet, og hvis det gør, vil det kræve 14.400 af disse containere for at give Danmark en vis forsyningstryghed. Det er faktisk mindre end de 15.550 containere, der kan være på Emma Mærsk containerskibet. Fylder vi to Emma Mærsk skibe op med den slags battericontainere, vil Danmark

næsten kunne klare sig gennem et år, hvor vi rammes af både et vejrchok og et transmissionschok, hvor strømmen fra vores nabolande også afbrydes i op til fire dage i streg (Batterierne er gode til at levere frekvensstabilitet, fordi de har meget hurtige reaktionstider og også kan lave en hurtig afladning i kortere periode, inden de fyldes op igen, når der er overskud af billig sol- og vindenergi i nettet. Priserne skal dog længere ned, før det samlet set bliver en attraktiv løsning.

Skal man f.eks. købe 90 GWh LFP-batterier til den aktuelle markedspris af 358 kr/kWh, vil det koste lidt over 32 mia. kr. at købe dem. Det svarer cirka til 20 måneders energifgifter i Danmark. Men batteriejerne kan også skabe en forretningsmodel ved at lagre energi, når elpriserne er meget billige, og så sælge ind til markedet, når elpriserne er høje, hvilket alt andet lige kan sænke de samlede omkostninger. De kunne evt. også få betaling for at have noget lagringskapacitet stående til rådighed. I Tyskland går det hurtigt med at opstille BESS-batterier, fordi regeringen har gjort det ekstra attraktivt ved at undtage dem fra nettariffr.⁴

vinder kapløbet, og i år vil de stå bag op imod 85 pct. af markedet. Og de stiger i størrelse, intensitet og lagringskapacitet. Verdens største batterifabrikant, kinesiske CATL, er nu på vej med en ny generation af litium-jern-fosfat-batterier i en standard 20 fods container kan lagre 6,25 MWh. Se tekstboks

Batterilagring ser også ud til at blive en finansiell investeringsmulighed. I øjeblikket skyder mange BESS-virksomheder op for at udnytte de hastigt faldende batteripriser, og de opbygger en business case for at levere systemydelser og balancering i nettet. De køber sol- og vindenergi, når den er allerbilligst, og sælger den tilbage, når energien er dyr. Alene i EU blev der installeret dobbelt så meget batterilagring i 2023 som i 2022, og det totale BESS-lager i EU er nu på over 36 GWh. Bloomberg New Energy Finance forventer, at der på globalt plan kan blive installeret omkring 155 GWh batterilagring, og en af hovedforklaringerne er, at priserne er halveret alene indenfor det sidste år.

Danmark er saktet agterud i dette kapløb, men øget batterilagring bliver uden tvivl en af de afgørende forudsætninger for at skabe et stabilt og sikkert vedvarende energisystem uden fossile brændsler. Iflg. Energistyrelsens tal har Danmark en samlet batterikapacitet på 2 MW i 2024, som frem mod 2050 ventes at stige til 460 MW. Man regner med andre ord med, at Danmark går fra nul GWh i 2023 til cirka 0,45 GWh i 2050. Den igangværende batterirevolution kan dog meget vel betyde, at Danmark allerede i løbet af meget få år vil runde flere GWh.

SOLENS KRAFT

På det globale marked har solcellerne sprængt alle forventninger, og hele 78 pct. af den vedvarende energieffekt, der blev installeret sidste år, var solenergi, mens vindenergien stod for 20% af den nyinstallerede effekt. Benyttelsestiden for vindkraft er dog typisk væsentlig højere end for solceller, hvorfor forskellen i produktion fra de to kilder er tilsvarende mindre. Det er meget forskelligt fra land til land, hvilket mix mellem sol- og vindenergi, der er bedst.

En massiv opskalering af produktionen – ikke mindst i Kina - betød, at solceller næsten er halveret i pris på bare et år. Den globale prognose er, at der vil blive installeret 500 GW solceller i 2024. I Kina har man i årets første år installeret over 100 GW solceller, og man ser ud til at have i alt 1200 GW solceller på plads inden udgangen af 2024, hvilket er seks år før, hvad regeringen i Beijing havde planlagt. I EU er tempoet også på vej op, og ved udgangen var der 269 GW solcelleenergi i EU-landene. I 2030 kan det være omkring 900-1000 GW, eller op til 33 mere, end man i 2022 besluttede i RePowerEU-planen.

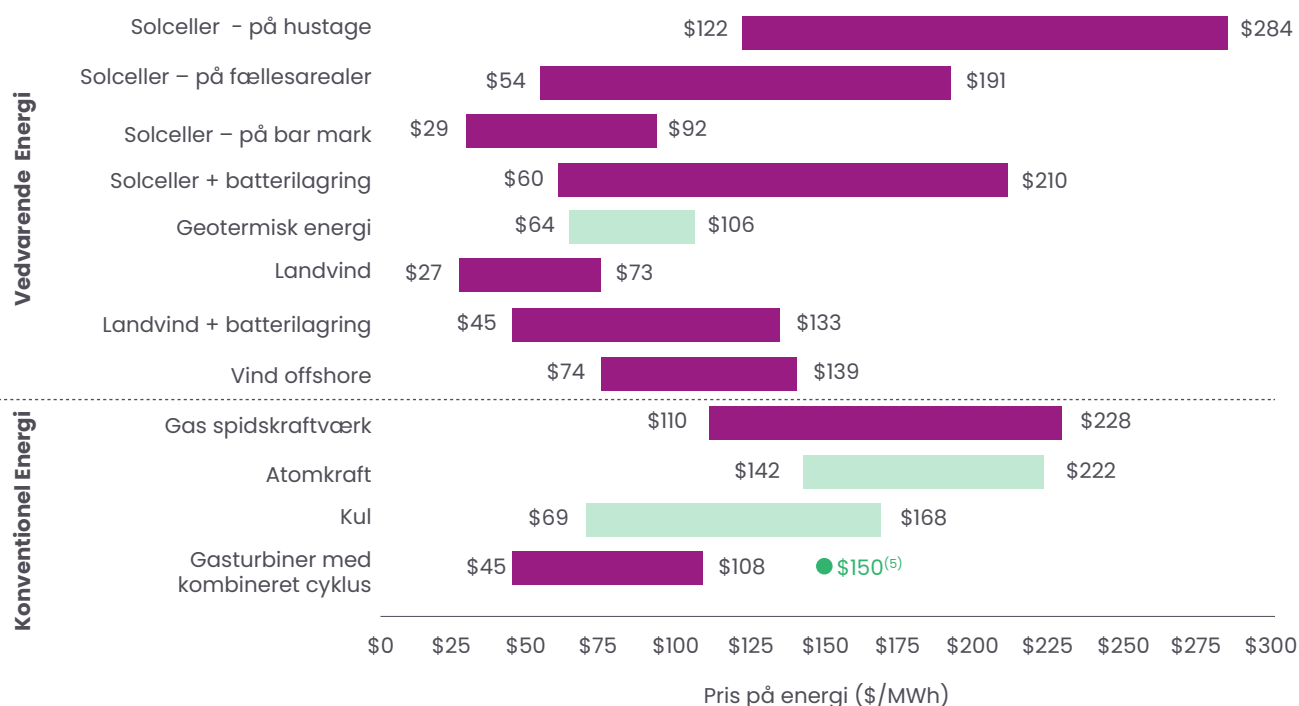
”På det globale marked har solcellerne sprængt alle forventninger, og hele 78 pct. af den vedvarende energieffekt, der blev installeret sidste år, var solenergi, mens vindenergien stod for 20 pct.”

I Danmark går det også hurtigere med at opstille flere solceller, og i andet kvartal af 2024 nåede man op på godt 3,7 GW, hvilket er dobbelt så meget som i fjerde kvartal af 2021. I regeringens Klimafremskrivning 2024 regner man med, at der kan være op imod 18 GW solenergi i Danmark i 2030. Nye regler for en mere smidig sagsbehandling kan sætte ekstra fart i udviklingen.

Nederlandene er her en europæisk frontløber, som flere medlemslande – herunder Danmark – kan tage ved lære af. Det er historien om en nation, der i mange år vendte solenergien ryggen og var dybt afhængig af naturgas, men som i løbet af de sidste få år har haft et ekstremt vækstboom indenfor solenergien. Se case s. 59.

Solcellerevolutionen ser ud til at fortsætte i de kommende år. Globalt set kan solenergi måske endda blive den dominerende energikilde i fremtidens bæredygtige energisystem – og den vil naturligvis få en langt større rolle i solrige lande i Sydeuropa. Men også i det tempererede klima i Danmark kan solenergien blive et meget vigtigt supplement til vindenergien. Den har samtidig den fordel, at de to energikilder supplerer hinanden godt, fordi vindproduktionen typisk er størst om natten, hvor solen ikke skinner, og

FIGUR 23. LIVSLANGE OMKOSTNINGER PR. ENERGIKILDE



Kilde: Lazard og Roland Berger, 2024 estimat. Opgivet som livslange omkostninger pr. energikilde (\$/MWh). Angivet i et prisspænd mellem de laveste og højeste omkostningsskøn.

● Note: Grøn pris på \$150 for gasturbiner – er inklusiv 20 pct. grøn brint fremstillet med VE

om vinteren. Arealmangel behøver ikke at være en reel udfordring, hvis man udtager mere landbrugsjord, sætter solceller op på store tagarealer, parkeringspladser, over motorveje og på vandet. Globalt kræver det kun 0,3 pct. af landarealet at forsyne hele verdens nuværende elforbrug med energi fremstillet med solceller.⁵

Der er også blevet rejst en del bekymringer, om der kan opstå mangel på kritiske mineraler til at fremstille de mange nye solceller, men denne bekymring ser ud til at være overdreven. Forskere har efter grundige studier af udfordringen konkluderet, at det ikke er et reelt problem med adgangen til disse råstoffer, og at det ikke vil begrænse væksten i solceller.⁶ Silicium er et af verdens mest udbredte grundstoffer, og de andre materialer, sølv, glas, plastik, aluminium og stål ventes der heller ikke at blive mangel på. En periode var der bekymring for, om solcellerne ville kræve for store mængder af sølv, men gennem innovation og cirkulære tiltag er det ikke et ret stort problem længere. Genanvendelsesraterne hos flere producenter er nu nået op på mellem 75-97 pct. på flere af de kritiske og værdifulde materialer.

Både solceller og vindturbiner kan i dag opstilles på markedsbaserede vilkår, uden at de nødvendigvis har brug for statsstøtte. For i dag er sol- og vindenergi

billigere end de fossile brændsler, og på livslange omkostninger er store solcelleanlæg på bar mark og landvind klart konkurrencedygtige. Selv hvis man lægger omkostningerne til f.eks. ellagring i batterier oveni, kan de på pris matche både gas og kul mange steder. Medregnes de positive sideeffekter for klima og miljø, er der ingen tvivl om, hvad der rent samfundsøkonomisk vil være det optimale valg. Se figur 23, der refererer til gennemsnitlige forhold i USA.

EN WIN-WIN-WIN LØSNING

Det er blevet økonomisk attraktivt at investere i de grønne og rene energikilder. For de tilbyder en win-win-win løsning: A) De er billigere på livslange omkostninger; B) De kan fjerne en stor del af luftforureningen fra fossile brændsler og afbrændt træbiomasse; C) De kan bidrage til at løse klimakrisen og bringe os tættere på målet om nulemissions-samfundet.

Regeringerne bør ikke satse på en enkelt vedvarende energikilde, for de får brug for en bred vifte af forskellige typer for at opbygge et robust og sikkert energisystem med stabil forsyning. Lande, der omfavner den grønne bølge hurtigst, kan opnå betydelige konkurrencefordele i de kommende år. For adgangen til billig energi er af fundamental betydning

i kappestriden på det globale marked. I stedet for at bevæge sig bag kurven, gælder det i stigende grad om at investere foran kurven.

Den store udfordring er at få fjernet alle de bureaukratiske snubletråde med langsommelige godkendelser af nye projekter med solceller eller opstilling af vindmøller. Det har været et stort problem i mange lande, herunder i Danmark. I 2023 blev der kun opstillet en ny kommerciel vindmølle i Danmark, som på få år er gået fra at være frontløber i EU til at være et af de mest fodslæbende lande, hvad angår vindenergi.

I EU blev der i løbet af sidste år opstillet 17 GW vindenergi, heraf 14 GW på land, men det er for lidt. Brancheorganisationen Wind Europe har skønnet, at EU-landene mindst skal opstille 30 GW vind hvert år frem til 2030 for at leve op til sine egne målsætninger. Nogle lande som Tyskland har dog vist, at når den politiske vilje er til stede, kan det godt lade sig gøre. De opstillede ikke alene ekstra 14 GW solceller, men klarede samtidig at opstille 2,9 GW vindenergi på land. Og i de første fem måneder af 2024 har tyskerne godkendt ekstra 3,1 GW vindenergi på land. På lidt over et år har de tyske myndigheder givet tilladelse til mere ny landvind, end der allerede findes i Danmark. Flere lande kan med fordel følge det tyske foregangseksempel.

Europas vindmøllefabrikanter står klar til at skalere kraftigt op, og hvis ikke de får fyldt ordrebøgerne op, er der desuden risiko for, at de må skære yderligere ned på kapaciteten, hvilket kan give bl.a. kinesiske konkurrenter bedre muligheder for at fylde tomrummet ud. Der er omkring 370.000 arbejdspladser på spil i den lange forsyningskæde, som den europæiske vindmølleindustri har opbygget i de sidste årtier.

Jo mere vindenergi, der fremstilles, jo mere fossil energi kan vi frigøre os fra. Og jo bedre muligheder får de enkelte lande for at skaffe billig og tilstrækkelig energi til nye industrier. Men når store havvindmølleprojekter og energjører aflyses eller udskydes, eller når landvindmøller ikke bliver opstillet på grund af bekymringer for f.eks. markmus eller flagermus i det lokale miljø, bliver det sværere at løse den klimakrise, som er den allerstørste trussel mod biodiversiteten.

Case: Det nederlandske soleventyr

Sidste år nåede Nederlandene en samlet solcelle kapacitet på 24 GW, som stod for 17 % af landets elproduktion. Det placerer Nederlandene som den nation i Europa, der i dag har den største andel af sol i deres energimix. I 2023 var der i gennemsnit 1356 Watt solenergi til hver indbygger.

Der er tale om en solrevolution i et land, hvor stort set alle husstande har været afhængige af naturgas til at varme hjemmet op. Siden energikrisen i 2022 er det gået ekstremt hurtigt med at få udbygget solenergien, og allerede i løbet af 2024 vil landet have nået sit 2030 klimamål om mindst 27 GW solenergi. I 2015 udgjorde elektricitet fra solceller blot 1 procent af Nederlandenes samlede elforbrug, i 2023 var det 16,7 procent, og nu er der over 3 mio. solceller installeret i landet. Fremskrivninger fra Solar Power Europe peger på, at Nederlandene er på vej mod 62–67 GW fra sol i 2030. Se figur 24. Udover betydelig nedgang i prisen, som de seneste år på globalt plan har været en væsentlig driver i forhold til at gøre sol mere økonomisk attraktivt og dermed mere udbredt, ligger der en bred vifte af politiske tiltag og prioriteringer, som har været med til at sætte yderligere skub i udbredelsen af solcelleprojekter i Nederlandene.

En af det overordnede drivere har været en offensiv arealanvendelse og -planlægning. Politisk har man banet vej for, at arealer i højere grad kan udnyttes til flere formål – f.eks. at placere store solcelleparker på parkeringshuse/pladser, togstationer, kirker, lufthavnsområder. Husejere, boligforeninger og virksomheder har fået lov til at leje deres tage ud til developere, som gerne vil installere solceller. Der har politisk også været fokus på at understøtte testprojekter

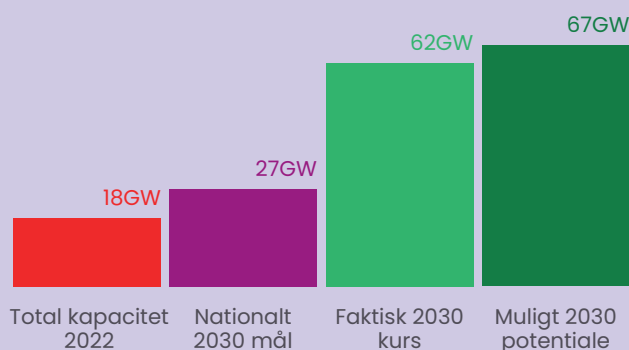
og skalering af solcelleprojekter på nye arealer som en integreret del af landbrugsproduktion og dyreopdræt. Nederlandene var også et af de første lande i verden til at etablere flydende solcelleparker på vand.

Udbredelsen af solcelleparker er gået hånd i hånd med lokal opbakning og medejerskab. I Nederlandenes klimaplan fra 2019 står der, at vedvarende energiprojekter skal have som ambition, at 50 procent af den energi, som anlæggene producerer, skal øremærkes lokalbefolkningen.

En anden vigtig faktor har været etablering af økonomiske støttepuljer, som har gjort det langt mere attraktivt for investorer at kaste sig over solcelleprojekter. Den primære og vigtigste støttepulje i Nederlandene er den såkaldte SDE+ (Renewable Energy Support Scheme), som alene i 2022 lå på et budget på 13 mia. euro. SDE+ er i høj grad målrettet støtte til vedvarende energiprojekter og herunder etablering af solcelleanlæg, men det støtter også udvikling og skalering af grøn brint, CCS og geotermisk lagring.

Som del af den finansielle støtte har der de seneste år også været lukrative ordninger målrettet husejere med solceller på taget. Den har haft forskellige former, men i dag bliver man betalt direkte for den el, man som husejer med solceller tilfører det offentlige elnet, og det har været en medvirkende faktor til at skalere udbredelsen af solceller. Forklaringen på den store vækst er frem for alt den lave pris pr. kWh, og at det er hurtigere at sætte solceller op, hvis virksomheder og husholdninger ønsker at få en grønnere elforsyning.

FIGUR 24. NEDERLANDENE FØRER AN PÅ SOLENERGI



I Tyskland valgte man derfor hurtigt at tage EU's nødretsforordning i brug, der blev vedtaget i december 2022. Af hensyn til forsyningsikkerheden tillader forordningen, at der laves en meget hurtigere sagsbehandling og effektive klageprocesser ved nye projekter med vedvarende energi. Man ser VE-projekter som noget, der er en væsentlig samfundsinteresse. Der kan gives kortere tidsfrister, også for miljøgodkendelser, og man kan også gøre det lettere at lave en såkaldt repowering af gamle anlæg, når det fører til mere vedvarende energi.

I Danmark bør vi lære af den tyske tilgang, og man kan her også gå målrettet efter at få skrottet nogle af de gamle møller – f.eks. alle ældre vindmøller på under 500 KW – og erstattet dem med nye topmoderne og effektive vindmøller, som kan levere meget mere energi pr. mølle. Samtidig kan man med fordel blive dygtigere til at lave en tidlig involvering af kommunerne og de lokale borgere i beslutningsprocessen. Nye økonomiske incitamenter, der gør det attraktivt for de lokale at byde velkommen til nye VE-projekter, kunne f.eks. være en form for overskudsdeling, hvor pengene direkte går til opstillerkommunen.

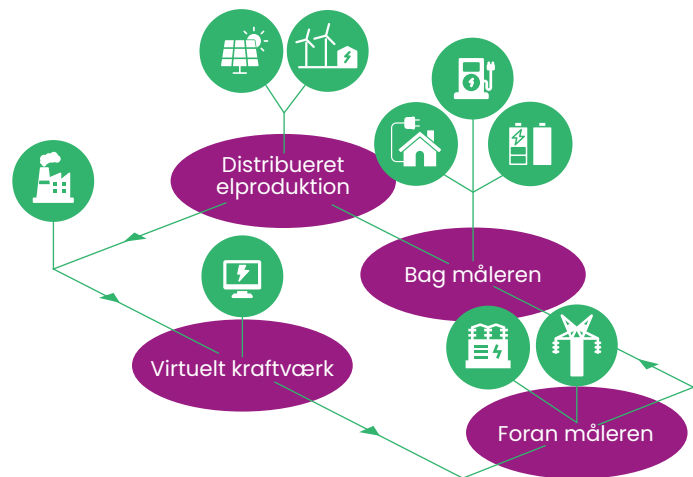
MERE DIGITAL ENERGISTYRING

Det gamle fossile energisystem har historisk været domineret af store centrale operatører og monopolselskaber, men i den store grønne acceleration vil energisystemet forandre sig radikalt og blive meget mere fleksibelt, decentraliseret og netværksbaseret. Vedvarende energi er en fleksibel og fluktuerende energi, hvor produktionen varierer en del afhængig af vejrforholdene. I stedet for store centrale kraftværker vil energisystemet få langt flere decentrale produktionssteder med grøn strøm, der fødes ind i nettet fra tusindvis af vindmøller og fra mange spredte solcelleanlæg på marker og tage. Det er et nyt system for distribueret og fleksibel energi. Og det vil blive bundet sammen af data på internettet. Med data intelligente net og en digitalisering af el- og varmemålere er det nemmere at fremme "load-shifting" og "peak-shaving" i energisystemet. Se figur 25.

I takt med, at sol og vind fylder mere i nettet, kommer der også en stigende efterspørgsel efter digitale styringssystemer, der ved hjælp af kunstig intelligens, forudsiger og matcher elproduktionen med efterspørgslen. Man kan her bl.a. optimere lagringen af grøn strøm i batterier, når udbuddet er stort, og priserne er lave eller måske endda negative.

Med millioner af smarte målere i husstande og virksomheder kan energiselskaberne få adgang til vitale data, hvor man med hjælp af kunstig intelligens, metavers og dataanalyse kan optimere alle systemer og spare energi og penge. Lidt over halvdelen af de europæiske husstande og virksomheder har i dag smarte elmålere, men de bør opsættes i

FIGUR 25. ØGET DIGITALISERING OG DISTRIBUTERET EL



Kilde: Alexa Capital

alle bygninger og forbindes til nettet. Jo flere eldata, der deles i anonymiseret form på åbne offentlige dataplatforme jo større værdi kan der skabes til gavn for alle.

I de næste par årtier vil vi se en ny digitaliseringsbølge rulle gennem energisystemet, og kunstig intelligens vil blive brugt i meget større omfang til at optimere alle systemer. Nogle steder håber man på effektiviseringsgevinster og at reducere nedetidene med mellem 20-30-50 pct. I Sverige har man i nogle boligforeninger reduceret energiforbruget med 20 pct. ved at bruge AI, og det japanske mobilfirma, KDDI, har med hjælp fra AI sparet helt op til 50 pct. af energiforbruget i de yderste dele af deres mobilnetværk, hvor trafikken er lavest.

Tingenes internet (IoT) vokser kraftigt, og det påvirker også energiforbruget. I dag er over 16 mia. produkter forbundet til internettet via sensorer og gps, og om otte år kan det være over 40 mia. IoT-enheder. På tingenes internet kommunikerer på kryds og tværs i realtid. Logistikfirmaer i transportsektoren såvel som energisektorens store aktører kan få meget præcis viden om, hvor varerne befinder sig lige nu, og hvordan efterspørgsel, behov og strømmen ændrer sig minut for minut, time for time. Med Google Street view og andre åbne platforme kan man skabe store datasæt, der kan give værdifulde informationer om adfærden, og med kunstig intelligens kan man optimere distributionen af elektricitet i nettet.

Men der er også risiko for en stor rebound effekt, for den øgede brug af kunstig intelligens kan føre til meget større energiforbrug.

Verdens datacentre og kunstig intelligens sluger i dag cirka to pct. af verdens elektricitet, men i 2026 vil datacentrene kræve mere end dobbelt så meget energi og nå et samlet forbrug på 1000 TWh, hvilket stort set svarer til hele Japans elforbrug. I EU er der i dag over 1200 datacentre, der står for 4 pct. af unionens samlede elforbrug, men frem til 2026 forventer man, at deres elforbrug stiger med omkring 30 pct.⁷

Hvis datacentrene er lokaliseret tæt på ren vedvarende energi og drives med 100 pct. grøn strøm, er det rent klimamæssigt ikke et så stort problem, men det forudsætter, at denne enorme mængde af akkumuleret viden i skyen bruges til noget nyttigt, der understøtter den grønne omstilling.

Ved at trække på store cloudbaserede datalagre med viden om historiske vejrdata og om de specifikke adfærdsmønstre i produktion og efterspørgsel kan algoritmerne trænes til at lave forudsigelser om, hvordan man optimerer hele værdikæden fra den enkelte vindturbin til elapparaterne ude hos forbrugerne. Det er et slags virtuelt energisystem, som kan skabe et nyt økosystem, hvor selskaber fra forskellige sektorer også kan samarbejde med hinanden om at finde mere energieffektive løsninger. Samtidig kan den enkelte forbruger bruge disse data til at få større indsigt til at handle bæredygtigt og spare på energien. For virksomhederne har det også meget stor værdi. Iflg. det Internationale Energiagentur producerer verdens vindmøller hvert over 400 milliarder datapunkter, og hos de store fabrikanter af turbiner, som bl.a. Vestas, har dataanalyse længe været en vigtig konkurrenceparameter.

Fleksible distribuerede energiløsninger – herunder termonet i lokalsamfundene og individuelle borgeres produktion og lagring af solcelleenergi på parcellen - kan spille effektivt sammen med de store centrale energiparker, distributionsnettet og transmissionsnettet, uden at den ene aktør presser den anden ud. Kommer der mere produktion og forbrug i lokale energifællesskaber, og gøres det attraktivt for virksomheder eller erhvervsparker at bygge deres egne "energi-øer", som er bakked op med egne batteri- og varmelagre, kan det tage noget af presset væk fra en udbygning af transmissionsledningerne. I Danmark flyttes i dag f.eks. store mængder vindenergi fra Vestdanmark til Østdanmark, men hvis man både hæver den grønne strømproduktion og lagringskapaciteten i Østdanmark, kan man spare på transmissionsomkostningerne og f.eks. frigøre mere grøn strøm til PtX-fabrikker i Jylland. Den slags må adresseres i en samlet og langsigtet energiplanlægning.

Nettet skal også kunne bære den nye elladestruktur for at bane vej for en 100 pct. elektrificering af vejtransporten i EU, og fra 2026 skal der f.eks. være

"I de næste par årtier vil en ny digitaliseringsbølge rulle gennem energisystemet, og kunstig intelligens vil blive brugt i meget større omfang til at optimere alle systemer"

hurtigladere for hver 60 km på de europæiske hovedmotorveje. Bilernes batterier kan også bruges som en ekstra energiressource, der kan stabilisere markedet, når der er spidsbelastninger, og de kan sende elektricitet tilbage til nettet. Den nye generation af vehicle-to-grid (V2G) elbiler vil i praksis kunne bruges som et stort netbaseret batteri, der kan øge forsyningsikkerheden i samfundet. Det er her vigtigt, at ladestanderne er forberedt til V2G.

Danmark har som et af de mest digitaliserede lande i Europa et stærkt udgangspunkt for at bruge den digitale teknologi til at udvikle et moderne distribueret og fleksibelt energisystem. 28 pct. af virksomhederne bruger allerede kunstig intelligens, og alle danske hjem har smarte elmålere installeret.

I efteråret 2022 vedtog Europa-Kommissionen en [handlingsplan](#) for en digitalisering af energisystemet, hvor man bl.a. lægger op til at styre IT-sektorens energiforbrug, at indføre nye energimærker og skabe øget gennemsigtighed om datacentrenergiforbrug. EU ønsker også at give borgerne bedre adgang til at bruge de digitale værktøjer, så de kan bedre kontrollere deres energiforbrug og regninger. Et tredje hovedpunkt er at forbedre energisystemets cybersikkerhed, så den kritiske infrastruktur bliver mere modstandsdygtig overfor hackerangreb.

Kommissionen forventer, at de europæiske netselskaber i dette årti mindst skal investere 170 mia. euro i nye digitale løsninger af de i alt 400 mia. euro, som skal bruges på at modernisere distributionsnettet. Samtidig er netselskaber fra mere end 15 EU-lande gået sammen med at udvikle et virtuelt økosystem for elnettet, der opererer parallelt med det fysiske elnet. Her vil transmissions- og distributionselskaberne dele data med hinanden og bruge kunstig intelligens til at modellere og forudsige forbruget, såvel som at hjælpe hinanden til bedre at kunne forhindre cyberangreb, der er under opsejling.

NYE GEOTERMISKE POTENTIALER

Også geotermisk energi kan spille en vigtig rolle i den grønne omstilling af energisystemet, selv om det indtil nu er en nicheteknologi med en meget beskedent markedsandel. Geotermi er helt kort en teknologi, hvor man hiver varmt vand op fra saltholdige reservoirs i undergrunden for herefter at bruge varmen fra vandet til fjernvarme og elektricitet. Geotermi har samtidig den fordel at være uafhængig af vejrliget.

Island er længst fremme indenfor geotermisk varme. Her bliver over 90 procent af alle hjem varmet op med geotermisk vand, som bliver ført ud til forbrugerne gennem et nationalt net af rørledninger. Også lande som USA, Nederlandene, Japan, Italien og Kenya – har geotermiske anlæg, men i 2022 var der kun otte lande, som åbnede nye geotermiske anlæg. Samlet set steg den globale produktion af geotermisk energi kun med 281 MW fra 2021 til 2022 og nåede samlet set en kapacitet på 14.9 GW i 2022. Det teoretiske potentiale er meget stort også i EU-landene, men her har nettokapaciteten stadig ikke rundet 1 GW.

Geotermi er udfordret af højere initiale kapitalomkostninger, men målt på livslange omkostninger er den efterhånden ved at være konkurrencedygtig med de traditionelle fossile energikilder. I de bedste business cases er den nået ned på omkring 50-70 dollar pr. MWh i de sidste 10 år, viser tal fra det internationale agentur for vedvarende energi, IRENA. Der forventes derfor en stigende vækst i udbygningen af geotermi de kommende år, fordi det er en energi med lave driftsomkostninger, der kan levere sikker varme på en effektiv måde i lokale områder, hvor der allerede er fjernvarmenet. Nye horisontale borer er også på vej frem, så man ikke behøver at bore så dybt, hvilket kan sænke omkostningerne i geotermiske projekter.

Forskellige analyser viser, at der i Danmark også er gode muligheder for geotermi. En kortlægning fra GEUS har peget på, at det flere steder i den danske undergrund er muligt at udnytte varmt vand fra undergrunden til energiformål. To til tre km nede i undergrunden er der flere steder med 60-80 grader varmt vand, som kan pumpes op, så man kan høste

“Geotermi kan blive en vigtig og stabiliserende del af et samlet energimix baseret på vedvarende energi. Geotermi har samtidig den fordel at være uafhængig af vejrliget”

varmen og f.eks. overføre til vandet i fjernvarmenettet i et lukket kredsløb. Herefter pumpes vandet ned i undergrunden igen. Den proces kan gentages i det uendelige.

Geotermi kan blive en vigtig og stabiliserende del af et samlet energimix baseret på vedvarende energi, fordi energiproduktionen er konstant modsat vind og sol, som er fluktuerende. Geotermi kan også være med til at erstatte en del af den store afbrænding af træbase-ret biomasse i den danske varmeforsyning.

Der har de seneste år været et voksende politisk fokus på geotermi. Herhjemme godkendte et politisk flertal i 2021 nye regler for geotermisk fjernvarme, som gør det mere økonomisk attraktivt at opsætte geotermiske anlæg. Et folketingsflertal har desuden lempet lovgivningen, så det er blevet muligt at etablere storskalaanlæg for geotermi i Danmark. Det første sopsættes i Aarhus, og det er virksomheden Innargi, der er ejet af Mærsk, der er ansvarlig for det. Det vil,

når det står færdigt, ifølge Klimaministeriet være det største anlæg i Europa og vil i 2030 kunne levere energi svarende til 20 procent af fjernvarmebehovet i Aarhus. Der er også partnerskaber, der er i gang med at kigge ind i muligheden for etablering af storskalaanlæg i blandt andet Holbæk og København.

Der er dog lang vej endnu i forhold til at få geotermi op i skala, der reelt batter i forhold til Danmarks energiforbrug. Det er i dag kun omkring 1 procent af vores samlede varmeforbrug som dækkes af geotermi, fra tre mindre anlæg ved Sønderborg, Thisted og på Amager.

Det er usikkert, hvor meget geotermisk varme Danmark og andre europæiske lande kan nyde godt af i fremtiden. Europa-Kommissionen forskningscenter, JRC, har vurderet, at der måske vil være 80 GW geotermi i et best case scenarie frem mod 2040, men i branchen presser man på for mere ambitiøse målsætninger. I juni 2024 sendte over 200 stakeholdere i den geotermiske industris værdikæde et brev til Europa-Kommissionen, hvor de opfordrede EU til at udvikle en decideret geotermisk strategi, hvor EU-målet skal være at nå op imod 250 GW geotermisk energi i 2040.

JAGTEN PÅ ET NYT GRØNT BRINTEVENTYR

99 pct. af verdens brintproduktion laves i dag med fossile brændsler, og deres samlede udledning af drivhusgasser svarer rundt regnet til udledningen fra verdens luftfart. I forhold til klimaudfordringen er det vigtigt at få dekarboniseret denne industri. På globalt plan fremstilles op imod 120 mio. tons brint eller brint i forbindelse med andre gasser. 42 pct. af den bruges i raffinaderierne til at fjerne svovl fra benzin- og diesel (hvilket begrænser syreregn), 37 pct. bruges til at lave kunstgødning og resten bruges til fremstilling af metanol, kemikalier, plastik og i industrielle processer.

Men hvordan trænges de fossile brændsler ud af verdens brintproduktion, og kan der opbygges en solid forsyningskæde med grøn brint fremstillet via elektrolyse og ren vedvarende energi? Det er her vigtigt at forstå, at brint en energibærer, der kan producere varme (via forbrænding) eller elektricitet (f.eks. gennem en brændselscelle). Og den kan bruges til at lagre energi over længere tid, så den sammen med batterier, varmelagre, vandkraft og andre teknologier kan være med til at lagre sol- og vindenergi.

EU har store ambitioner om, at EU-landene i 2030 får en grøn brintproduktion på 10 mio. tons og vil importere yderligere 10 mio. tons grøn brint. Men der er lang vej igen. Det kræver 100 GW elektrolysekapacitet og 200-300 GW ren vedvarende energi at producere 10 mio. tons grøn brint.⁸

I 2023 var der på globalt kun 2 GW elektrolysefaciliteter, og de producerede blot 148.000 tons grøn brint. Kapitalomkostningerne er fortsat meget store, så der er endnu ingen storskalaanlæg i Europa. Indtil nu har skaleringen været hæmmet af flere forhold. For det første er prisen på grøn brint flere gange højere, dvs. typisk 5-8 euro pr. kg versus brint fremstillet med gas, der koster blot 1,5 euro pr. kg. Hvis ikke priserne bringes længere ned - eller regeringerne giver økonomisk støtte og statslige garantier i transformationsfasen - kan drømmene om et nyt grønt brinteventyr lide en krank skæbne.

En anden alvorlig udfordring er manglen på tilstrækkelig med grøn strøm til de kommende PtX-fabrikker. Så længe der ikke er overskud af grøn strøm og fossile brændsler i energiforbruget, risikerer man at bruge fossil energi i elnettet til at fremstille grøn brint, hvilket vil efterlade et ekstra stort klimaaftryk. Statsstøtte til grøn brintproduktion - inden der er tilstrækkelige mængder grøn strøm og de fossile brændsler er trængt ud af energisystemet - vil ikke fortrænge så mange tons CO₂, som direkte støtte til ren vedvarende energi eller varmepumper vil kunne sikre. Se tabel på side 64.

Private investorer og konsortier har dog allerede lagt ambitiøse planer for nye PtX-fabrikker i Danmark og andre EU-lande. European Energy har f.eks. opført verdens største kommercielle e-metanol anlæg i Kassø ved Aabenraa, der skal fremstille e-metanol til det første containerskib i verden, som er CO₂-neutralt. Men samtidig har vi set Ørsted bakke ud af nogle af sine store grønne brintprojekter i Sverige og Tyskland med henvisning til de meget høje investeringsomkostninger.

Det er stadig uklart, hvem der vinder i kapløbet om at opnå en frontløberfordel i markedet og lykkes med at skabe en skalerbar PtX-forretning. Vi er vidner til et udskilningskapløb. Hvis Danmark skal udvikle en stærk PtX-industri kræver det dog en markant større og hurtig udbygning med land- og havvind og solceller. Og det går stadig alt for langsomt. På længere sigt kan der også komme en udfordring med at skaffe tilstrækkelig med kulstof til fremstilling af de nye e-brændstoffer, hvilket man er nødt til at adressere i tide.

FREMTIDENS USIKRE BEHOV

Det er svært med præcision at forudsige fremtidens efterspørgsel efter grøn brint. Det afhænger i høj grad af teknologjudviklingen, og hvor langt man kommer med en direkte elektrificering af hard-to-abate industrier. Grøn brint vil aldrig - grundet de store konverteringstab - kunne konkurrere med teknologiske alternativer, der drives direkte af grøn strøm. Det gælder f.eks. vejtransporten eller varmesektoren. Der går mindst 30 pct. af energien tabt ved produktion af

grøn brint fra elektricitet, og i varmesektoren kan brinten slet ikke konkurrere med varmepumper, der 5-6 gange mere energieffektive.

Andre sektorer er sværere at dekarbonisere, og her kan grøn brint måske komme til at spille en vigtig rolle. På trods af den hurtige batterirevolution er hovedprognosen, at skibe og fly på de lange ruter skal drives af en ny generation af e-fuels i de kommende år.

Lande med store mængder af grøn vedvarende energi – som bl.a. Danmark – har gode muligheder for at gå ind i dette kapløb og skalere produktionen op med e-fuels. Men konkurrencen på pris er hård, og lande med store mængder af både billig vind- og solenergi, der geografisk ligger tæt på de store markeder, må forventes at have en konkurrencefordel.

Adfærd og reguleringer kan også ændre spillet. Kan man f.eks. gennem langt højere klimaafgifter få folk til at ændre adfærd og flyve mindre, vil det mindske behovet for e-kerosen til flyene. Og vil digitaliseringen

sænke behovet for en række af de fysiske arbejds-møder og rejser til udenlandske konferencer – eller ligefrem stimulere folk til at rejse mere? Vi ved det ikke endnu. I landbruget er der også et stort potentiale for at erstatte kunstgødning fremstillet med fossil energi og gå over til e-ammoniak.

Samtidig må der dog forventes et politisk reguleringspres for at få landbruget til at sænke forbruget af kunstgødning, der har ført til store vandmiljøproblemer med alt for stor udvaskning af næringsstoffer til drikkevand og havmiljø.

PtX produkter fremstillet med grøn brint vil mindske luftforureningen fra afbrændingen af fossile brændsler, og vil være bedre for klimaet end den fossile business as usual.

Det er dog dyrt at producere grøn brint, og det vil lægge et betydeligt beslag på arealanvendelsen. Det er dobbelt så effektivt i transporten at bruge ren grøn strøm direkte end at fremstille e-fuels med grøn brint.

FIGUR 26. KLIMAGEVINST VED FORSKELLIG ANVENDELSE AF GRØN EL, CO₂-FORTRÆNGNING KG/GJ DIREKTE CO₂

CO ₂ -fortrængning kg/GJ		Grøn el som alternativ	Grøn el via varmepumpe
Varme	Varme	110 (42 ^a)	330 (125 ^a)
	Brænde	125	375
	Kul	104	312
	Olie	88	264
	Naturgas	62	186
Strøm	Træpiller/flis	110 (42 ^a)	Ikke relevant
	Kul	104	
	Olie	88	
	Naturgas	62	
Brændstof	Benzinbil fortrængt af elbil	146	Hvis 50% varmetab fra P2X udnyttes i fjernvarmen
	Dieselbil fortrængt af elbil	148	
	Skibsbrændstof (via PtX)	40 ^b)	47
	Flybrændstof (via PtX)	60 ^a)	48 ^b)
		60 ^a)	68 ^a)

- a) Best case dvs. der medtages kun de udjævnede direkte klimaeffekter og ingen indirekte klimaeffekter (LULUCF).
b) Medregnet CO₂-fortrængning fra flybrændstof og diesel, gas m.v. (produceres simultant med kerosen ved P2X).
c) Hvis kerosin samtidig fjerner al opvarmning knyttet til NOx, jetstriber, black carbon m.v. på længere flyture.

Kilde: Rådet for Grøn Omstilling, egne beregninger, 2023.

Det betyder med andre ord, at det f.eks. kræver dobbelt så mange vindmøller at fremstille grønne e-fuels som at bruge den grønne strøm direkte.

PtX kræver meget store mængder af meget ultrarent vand – det kræver 9-10 liter vand at fremstille et kilogram hydrogen - så adgangen til vand bliver også en kritisk faktor, der skal med i energiplanlægningen.

I omstillingen bør man heller ikke overse, at brint i sig selv har en betydelig opvarmende effekt ved lækage til atmosfæren, da det fungerer som en indirekte drivhusgas. Når brint stiger op i atmosfæren og troposfæren og går i forbindelse med de frie radikaler, så forlænger den andre drivhusgassers levetid. Der er fortsat videnskabelig uenighed om niveauet af opvarmning og regnemetoder, fordi brint har en meget stor umiddelbar effekt, men samtidig har den relativ kort levetid i atmosfæren. Et studie publiceret i Nature estimerer opvarmningen til mere end 11 gange så skadelig for klimaet som CO₂ set over 100 år.⁹ Andre studier har vist, at brint over 20 år kan være mellem 19-38 gange mere skadelig end CO₂.¹⁰

Hvis overgangen fra fossile brændsler til brint-baseret økonomi ikke skal have en u hensigtsmæssig slagside, bør der derfor stilles krav om minimal lækage og grundig kontrol langs hele værdikæden. Det kan tale for, at det er bedre at fremstille grøn brint på lokale elektrolyseanlæg og at fremstille den næste generation af e-fuels og e-ammoniak i samme geografiske område, så man sparer de høje udgifter og energitab ved transport af brint over lange afstande. Samplacering af VE og grøn brintproduktion bør fremmes, og det bør ske i bynære områder, så overskudsvarmen kan udnyttes i fjernvarmen.

Transport af brint over lange afstande er langt mere energikrævende end f.eks. at transportere gas – forskellen er en faktor 3. Over en 30 års periode vil man - iflg. energieksperter Paul Martin - mindst tabe 10 gange så meget energi ved at fremstille grøn brint og transportere den over lange afstande i brintrør, end hvis man vælger at sende grøn strøm gennem HVDC-transmissionsledninger.¹¹

Der er stadig betydelig usikkerhed om, hvor store mængder brint, der vil være behov for i fremtidens energisystem. Selv i et samfundsøkonomisk business as usual scenarie kan det vise sig, at behovet for grøn brint i Europa er op til 5 gange mindre i 2030, end Europa-Kommissionen ellers satser på.¹² Inden man kaster sig ud i en voldsom opskalering med grøn brint i Danmark og EU, er der behov for flere grundige analyser af fremtidens energibehov, hvor der tages højde for øget energieffektivisering og elektrificering i bl.a. vejtransporten og industrien.

“Brint og PtX bør holdes helt ude af biler, lastbiler og opvarmning af boliger, hvor der findes mere effektive alternativer”¹³

Elektrolyseprocessen - hvor vedvarende energi konverteres til grøn brint, som bagefter bruges til fremstilling af e-brændstoffer - er grundlæggende en dyr og ineffektiv proces, fordi der er meget store energitab undervejs. For at sikre en omkostnings- og klimaeffektiv omstilling, bør PtX begrænses til de sektorer, hvor der ikke findes andre fornuftige løsninger. Brint og PtX bør holdes helt ude af biler, lastbiler og opvarmning af boliger, hvor der allerede findes mere effektive alternativer. Fremskridt i den direkte elektrificering af tung industri gør desuden, at man bør være varsom med at introducere brint her, da investeringer i infrastruktur og produktionsapparat kan låse industrier til indirekte elektrificering, der vil være dyrere end en direkte elektrificering.

ELEKTRIFICERINGEN SKAL OP I GEAR

I dag går elektrificeringen dog alt for langsomt i Europa. Faktisk er den gået i stå i de senere år, hvis man opgør den som andel af EU-landenes endelige energiforbrug, og den udgør kun 23 pct. af det endelige energiforbrug indenfor fællesskabet.

Tempoet i elektrificeringen skal sættes kraftigt op. Den europæiske brancheorganisation, Eurelectric, har opfordret Europa-Kommissionen til at lave en **aktionsplan** for en hurtigere elektrificering i EU.¹⁴ Det kræver, at man systematisk stiller krav - sektor for sektor - til, hvordan man øger elektrificeringen. I varmesektoren kan en hurtig udrulning af varmepumper f.eks. reducere energiforbruget med to tredjedele. Det samme kan ske ved at fremme elektrificeringen af vejtransporten. Eurelectric anbefaler, at EU øger omstillingshastigheden med op til 3-4 gange for varmepumper og elbiler. Det sidste kræver også en hurtigere udrulning af ladestationer i EU.

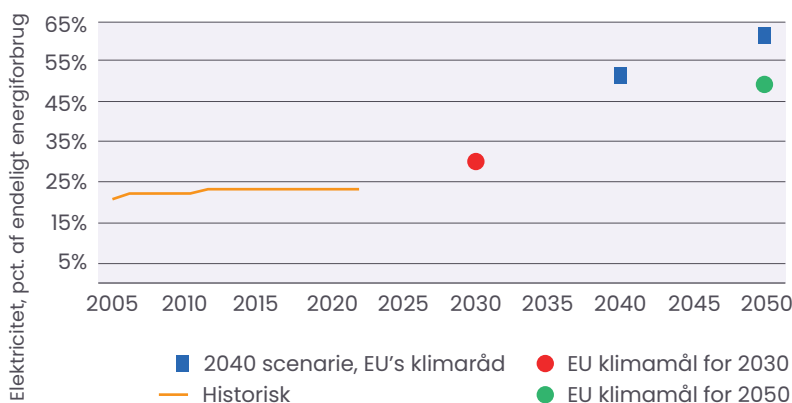
Elektrificeringen har potentiale til at bane vej for store energibesparelser – en slags energieffektivisering 2.0, som Danfoss har kaldt det.¹⁵ Forklaringen er, at de elektriske løsninger kan skære 40 pct. af det endelige energiforbrug, frem for at man fortsætter med den fossile energi. I en elektrisk gravko kan man allerede skære 15-30 pct. af energiforbruget væk ved at gå over til eldrevne maskiner, og Danfoss vurderer, at man kan nå helt op til at skære halvdelen af energien væk.

En af de helt store barrierer for en hurtigere elektrificering ligger i elnettet, der mange steder er nedslidt og ikke har kapacitet nok. EU-landene har et af de ældste elnet i verden, og cirka 40 pct. af nettet er over 40 år gammelt, så behovet for en modernisering er påtrængende. Udfordringen er bare, som Kommissionen påpeger i sin netstrategi, at der ofte går mellem 4-10 år, før netselskaberne får tilladelse til at styrke nettet, og der kan gå helt op til 8-10 år på transmissionsnettet med høj spænding.¹⁶ Disse ventetider er bureaukratiske stopklodser for den grønne omstilling, der bør fjernes.

Hvis ikke det europæiske elnet udbygges kraftigt, er risikoen, at man kan tilslutte de mange nye solcelleanlæg, vindturbiner og varmepumper, og at der vil opstå lange ventetider.

“Elektrificeringen har potentiale til at bane vej for store energibesparelser – en slags energieffektivisering 2.0”

FIGUR 27. ELEKTRIFICERINGSRATE, HISTORISK OG MÅLSÆTNING



Kilde: Eurostat energibalance, 2023
Samt Europa-Kommissionen klimamål og Fit for 55 Mix scenarie, samt 2040 scenarie fra Det Europæiske Klimaråd, 2023.

I dag er det europæiske transmissionsnet, der flytter el over lange strømme med høj spænding, 340.000 kilometer langt, men det skal udbygges kraftigt i de kommende år.

Europa har allerede mere end 400 interconnectorer, der bidrager til at flytte overskydende sol- og vindenergi over grænserne, og det mindsker landenes sårbarhed og stabiliserer det samlede net. Men kapaciteten er med i alt 93 GW for lille til fremtidens behov. Tænk tanken Ember vurderer, at der skal bygges mange flere interconnectorer, og kapaciteten i løbet af de næste 10-15 år skal løftes til mindst 148-187 GW.¹⁷

Alle dele af energisystemet skal spille ordentlig sammen, og der skal være kapacitet nok på de grønne hovedmotorveje, så vi ikke ender med at falde tilbage på den gamle fossile infrastruktur.

VI ER FORTSAT IKKE GODE NOK TIL AT SPARE PÅ ENERGIE

Det samlede regnestykke for at nå de nødvendige CO₂- og ressourcereduktioner kan ikke gå op i den sidste ende uden markante energieffektiviseringer. Hvis ikke der spares på energien, og hvis energien ikke bruges effektivt, vil omkostningerne til den grønne omstilling forøges betydeligt. Vi har i forvejen ikke nok grøn strøm og med den store efterspørgsel på den i fremtiden grundet elektrificering af transport, opvarmning og industri, datacentre, PtX mv. Derfor bliver det bydende nødvendigt at bruge energien klogt og energieffektivt.

Den første forudsætning er at få elektrificeret mest muligt. Adfærdændringer, der sikrer, at virksomheder og borgere sparer på energien, er også afgørende. Der kan desuden opnås store gevinster ved at minimere de store tab af overskudsvarme, som er i

fabrikker, datacentre, supermarkeder mv. Alene i EU svarer den tabte overskudsvarme til op imod 2860 TWh pr. år, hvilket næsten svarer til EU-landenes samlede forbrug af varme og varmt vand.⁴⁸ Meget af denne overskudsvarme kan fanges og bruges, hvis man optimerer de eksisterende systemer og bruger energieffektive teknologier. Vi skal også i gang med en omfattende renoveringsbølge, så vores bygninger bliver mere energieffektive.

Energibesparelser er et af de vigtigste redskaber til på kort bane at reducere forbruget af fossile brændsler. I Danmark er det omstillingen fra fossile brændsler til vedvarende energi og øget energiintensitet, der har været skyld i de væsentligste CO₂-reduktioner indtil nu. Det korrigerede bruttoenergiforbrug (hvor der tages højde for brændsel knyttet til udenrigshandel med el samt vejrudsving ift. normale år – men ikke vores internationale transport) lå i 2022 på 696 PJ, mens det tilbage i 1990 var 819 PJ, hvilket er en reduktion på 15%.

En anden måde at kigge på energiforbruget på er via energiintensitet. Det svarer til energiforbruget sat ift. BNP, og altså hvor effektivt vi bruger energien til at skabe økonomisk værdi.

Dette fremgår blandt andet af det Internationale Energijagerturs (IEA) net-zero carbon scenarie, hvor de forudsætter, at energiintensiteten skal være dobbelt så høj i 2020'erne som i 2010'erne. Hvert år bør energiintensiteten øges med 4,2% fra 2020-2030 ifølge IEA sammenlignet med 1,6% fra 2010-2020. Det lever EU-landene ikke op til i dag. Også Danmark har hjemmearbejde at lave.

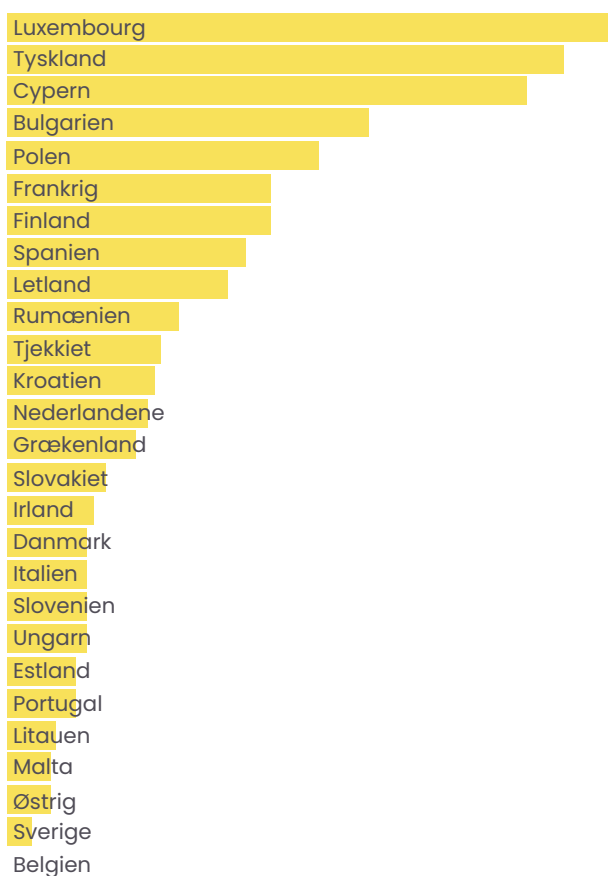
Kigger man på energiintensiteten fra 1990-2022 har Danmark haft en årlig forbedring på 2,25 % – som er langt fra IEA's ambition om mere end 4 procent.

De tal vidner klart om, at den danske indsats for at sikre energibesparelser stadig er utilstrækkelig. Det går for langsomt med at sikre en effektiv energjudnyttelse, og virkemidlerne er for få. Det gælder både i forhold til energisektoren, industrien og vores bygninger.

Når vi sammenligner med de resterende EU-lande i Energy Efficiency Scoreboard (Odyssee-Mure, udarbejdet af blandt andet Enerdata og Fraunhofer ISI), ligger Danmark i den uambitiøse ende, når der kommer til politik relateret til energieffektivisering, f.eks. regulering til at fremme energieffektivisering, tilskudsmuligheder, energispareforpligtelser og energimærkning. Se figur 28.

EU har dog sat nye mål og hævet ambitionsniveauet for energieffektivisering. I det reviderede Energieffektiviseringsdirektiv fra 2023 er målet om en reduktion af EU's primære og endelige energiforbrug fastsat til 11,7 pct. i 2030 i forhold til 2020-prognoserne.

FIGUR 28. HVILKE EU-LANDE HAR DEN MEST AMBITIØSE POLITIK FOR ENERGIEFFEKTIVISERING?



Kilde: Odyssee-Mure, 2023 EU Energy Efficiency Scoreboard. Landene er rangeret ud fra, hvor ambitiøse de er i politikken for energieffektiviseringer

Danmark har en række forpligtelser over for EU om at skulle sænke vores energiforbrug, og indtil nu kniber det med at omsætte dem til konkret politisk handling. Det vil ellers være en hurtig og effektiv vej til at reducere Danmarks udledning af drivhusgasser.

RESSOURCEEFFEKTIVITET ER OGSÅ EN KRITISK FAKTOR FOR SUCCES

Energiomstillingen er også en fysisk og materiel udfordring. Det er vigtigt hurtigt at skalere minedriften på en række af de kritiske råstoffer, som skal bruges i de nye grønne energiteknologier. I de senere år er der blevet rejst en alvorlig bekymring om den grønne omstilling af energisektoren vil føre til en så eksplosiv stigning i efterspørgslen efter sjældne metaller og mineraler, at der kan opstå mangelsituationer og øget inflation. F.eks. at stigende priser på kobber, aluminium, litium og andre metaller kan føre til en slags "greenflation",

der spredt sig til hele økonomien og skaber en kraftig prisinflation. Det er en bekymring, der også er udbredt i EU, hvor man har vedtaget en Critical Raw Materials lov, der bl.a. skal fremme øget minedrift i det europæiske fællesskab. Og samtidig vil man sikre, at EU-landene ikke bliver for afhængige af Kina og andre stormagter, der har sat sig på de vigtige forsyningskæder fra verdens miner til forædlingsindustrien. Det er vigtigt at adressere denne risiko i en bred strategisk indsats.

Europa-Kommissionen analysecenter, JRC, vurderer, at EU's grønne transition kan få efterspørgslen efter sjældne metaller til at stige 5-12 gange. Og efterspørgslen efter litium vil f.eks. være 9-12 gange så stor i 2030 og 14-21 gange så stor i 2050, afhængig af hvilket scenarie man støtter sig til.¹⁹

En accelereret grøn omstilling vil reducere den globale udvinding af olie, gas og kul, og samtidig åbnes der allerede mange nye miner til at imødegå den stigende efterspørgsel efter nye metaller og mineraler. F.eks. har der i de sidste fem år været en eksponentiel vækst i udvindingen af litium, kobolt og nikkel, og hele 60 pct. af den aktuelle minedrift efter litium er blevet åbnet i de sidste fem år.²⁰ Ifølge Energy Transitions Commission er de globale litium reserver 85 mio. tons, der er 25 mio. tons kobolt, 300 mio. tons nikkel og 5600 mio tons kobber, og der er kun brug for en lille andel af disse reserver for at fuldføre den grønne omstilling i energisektoren.

Det totale materialebehov til at sikre en grøn omstilling af energisektoren helt frem til 2050 er mindre end et års udvinding i kulindustrien.

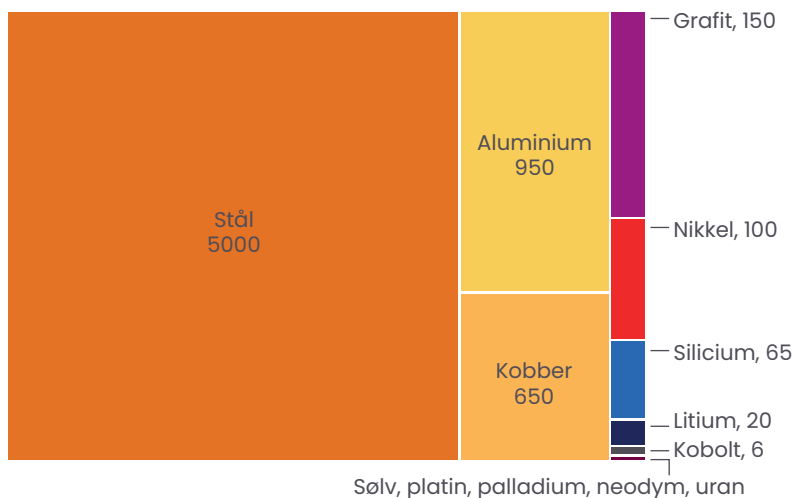
Se figur 29

Det internationale agentur for vedvarende energi, IRENA, vurderer også, at frygten for en greenflation er overdreven. Mængdebehovet for de forskellige kritiske metaller og mineraler, der skal bruges til omstillingen i energisektoren, er meget lille i forhold til den totale efterspørgsel efter dem. Desuden kan man anvende alternative materialer, redesigne produkter eller recirkulere råstofferne mere. De er varige, hvor fossilerne forbrændes hvert år.²¹

Ved en bevidst satsning på cirkulær økonomi og innovation kan man nedsætte ressourcetrækket. I vindmølleindustrien er man i stand til at genanvende mellem 85-90 pct. af materialerne i vindmøllevingerne, og Tesla og Volkswagen er i stand til at genanvende 90 pct. af de kritiske råstoffer i batterier.

Den hastigt stigende efterspørgsel efter batterier, der sluger mange af de kritiske råstoffer, har i flere år givet anledning til bekymringer. Men i takt med skaleringen af industrien er batterifabrikkerne også blevet dygtigere til at recirkulere materialerne.

FIGUR 29. SAMLET GLOBALT MATERIALE FORBRUG TIL GRØN ENERGIOMSTILLING FRA 2022-2050, MIO. TON



Kilde: Energy Transition Commission, 2022. Materialebehovet til den grønne energiomstilling svarer til mindre end et års kulforbrug, målt i vægt. Det årlige kulforbrug er i øjeblikket 8000 mio. ton.

Brunp, der er et datterselskab af den kinesiske batterigigant, CATL, kan trække hele 99,6 pct. af nikkel, kobolt og mangan fra de gamle, brugte batterier og recirkulere disse kritiske mineraler. Og for litium genanvender de 91 pct.

I følge tænketanken RMI ville efterspørgslen efter nikkel og kobolt have været dobbelt så stor, og efterspørgslen efter litium ville have været 58 pct. højere, hvis vi i dag havde lavet batterier, som man gjorde i 2015. Man har bl.a. ændret den kemiske sammensætning i batterierne, så de er meget mere energi-tætte, samtidig med at man bruger færre mineraler. RMI vurderer lige frem, at batteriindustrien i 2050 måske kan blive 100 pct. cirkulær, så man ikke får brug for at lave udvinde flere mineraler fra undergrunden.²²

Det samlede ressourcetræk er meget lavere end, hvis man fortsætter business as usual. I batteriindustrien vil en accelereret omstilling samlet set kræve 125 mio. tons mineraler. Det er 17 gange mindre end den mængde af olie, der hvert år udvindes for at holde gang vejtransporten i gang. Det vil også være omkring 20 gange billigere at udskifte de fossile brændsler med batterier, vurderer RMI.

Det er afgørende at få styr på forsyningskæderne og at gøre dem cirkulære, hvis den grønne energiomstilling skal blive bæredygtig og holde sig indenfor de planetære grænser. Samtidig kan man med politiske reguleringer sætte fart i elektrificeringen, sikre bedre og elektrisk offentlig transport, fremme

“Det totale materialebehov til at sikre en grøn omstilling af energisektoren helt frem til 2050 er mindre end et års udvinding i kulindustrien”



Case: Inflation Reduction Act

Der blæser nye grønne vinde i USA. Den 16. august 2022 underskrev USAs præsident Joe Biden den såkaldte Inflation Reduction Act – en lovgivningspakke på 730 sider, der af flere regnes for at være et helt afgørende tiltag i forhold til at accelerere den grønne omstilling. Det er den største investeringspakke til grønne energikilder, der nogensinde er lanceret i USA.

Med 369 mia. dollar i statsstøtte og skattekreditter fra 2022-2031 sætter pakken skub i opstillingen af mere end hundred tusind nye vindmøller og 950 millioner solpaneler. Den fremmer også energieffektiviseringer og skal elektrificere USA i langt hurtigere tempo. Der er i pakken også fokus på at bane vejen for langt stærkere amerikanske industrier inden for batterier, udvinding og forarbejdning af kritiske råstoffer, CCS, geotermi og grøn brint. Der gives bl.a. en skattefratagelse på tre dollars pr kilo produceret grøn brint. Der er også skattefradrag på op til cirka 56.000 kr. ved køb af

elbiler, forudsat at batterierne er bygget i USA, og 40 procent af metallerne er udvundet eller genbrugt i USA.

Fokus er at accelerere omstillingen til vedvarende energi i USA og bringe USA i mål med at halvere sine CO₂-udledninger inden 2030 sideløbende med, at man understøtter amerikanske virksomheders vækstmuligheder indenfor den grønne omstilling.

En rapport fra amerikanske Climate Power viser, at lovgivningspakken allerede har haft sin effekt – både på antallet af nye energiprojekter og ift. vækst og arbejdspladser. Fra lovpakken blev vedtaget i august og frem til januar 2023 blev der skabt mere end 100.000 nye job i 31 stater. I samme periode blev der opstartet over 90 nye grønne energiprojekter svarende til 89,5 mia. dollars i nye investeringer. Der er planer om mere end 40 batterifabrikker fordelt ud over USA, planer om nye elbilfabrikker og ekspansion af produktion af både sol og vind.

elektrisk mikromobilitet og gennem bedre byplanlægning fremme cyklisme og bevægelse til fods. Man er nødt til at få sufficiency og cirkularitet tænkt ind i energipolitikken fra starten af.

EN NY GENERATION AF GRØN INDUSTRIPOLITIK

Indtil nu har energieffektiviseringer og ressourceeffektivitet ikke nydt den store politiske opbakning målt i kroner og ører. I Danmark har staten brugt langt flere penge på at give statsstøtte til CO₂-fangst og lagring, biogas og konvertering af biomasse til el. Man har bevilget over 38 mia. kr. til CO₂-fangst. Fra 2021-27 giver staten over 4,3 mia. kr. til kraftværker, der fremstiller el fra brændt biomasse. Og i samme periode får biogasanlæg rundt omkring i landet 19 mia. kr. i statsstøtte. Biogassektoren får over en tredjedel af den samlede klima- og energistøtte – og det er mere end sol, vind og energieffektiviseringer får til sammen. Og i den grønne trepartsaftale for landbruget blev aftaleparterne enige om, at der skal afsættes hele 10 mia. kr. til pyrolyse – hvilket er ti gange så meget som Michaels Svarers ekspertudvalg selv havde lagt op til. Det er usikkert, om den store satsning kan levere så høje klimaeffekter, som politikerne håber på. Dette bør vejes op imod alle de penge, der i øvrigt afsættes til at understøtte de grønne teknologier.

“Fremover bør man give mere i støtte til de teknologier og løsninger, der leverer den største og hurtigste klimaeffekt. Den danske erhvervsstøtte bør omlægges, så man sikrer en accelereret udfasning af fossile brændsler.”

Regeringen har f.eks. givet 1,25 mia. kr. i statsstøtte til seks forskellige Power to X-projekter, der til sammen vil opføre en kapacitet på 280 MW – men der er stadig langt op til det politiske mål om at få etableret 4-6 GW PtX-fabrikker i Danmark i 2030.

Hvis ikke Danmark udbygger den vedvarende energi hurtigere, kan det blive svært at skaffe nok grøn strøm til disse nye PtX-faciliteter og den næste generation af e-fuels. Andre EU-lande er nu hurtigere til at skalere den vedvarende energi op, og de giver også større støttebeløb til PtX end den danske stat gør. Det gør det sværere for danske developere at konkurrere i dette kapløb.

Danmark har i flere år brugt statslige midler til at føre aktiv industripolitik for at fremme den grønne omstilling, men pengene er ikke brugt omkostningseffektivt til de grønne teknologier, som kan sikre den hurtigste udfasning af fossile brændsler. Man kan opnå de største og hurtigste klimagevinster ved f.eks. at investere langt flere midler i energieffektiviseringer og en hurtig udbygning med sol- og vindenergi og varmepumper, men disse løsninger får i dag den mindste andel af de grønne offentlige støttemidler. Og når staten giver meget store støttebeløb til pyrolyse, biogas og CO₂-fangst, kan det være svært at finde tilstrækkelige midler til andre formål.

Fremover bør man hellere give mere støtte til de teknologier og løsninger, der leverer den største og hurtigste klimaeffekt. Den danske erhvervsstøtte bør recalibreres og omlægges, så man sikrer en accelereret udfasning af fossile brændsler.

Uanset hvad bliver der uden tvivl brug for offentlige midler til at skalere de grønne teknologier og løsninger hurtigere. I EU er der en stigende opmærksomhed om den rolle, som en aktiv grøn industripolitik kan spille i transformationen. Og det samme sker i USA, hvor præsident Bidens Inflation Reduction Act har banet vej for en bølge af grønne investeringer. Se *tekstboks*.

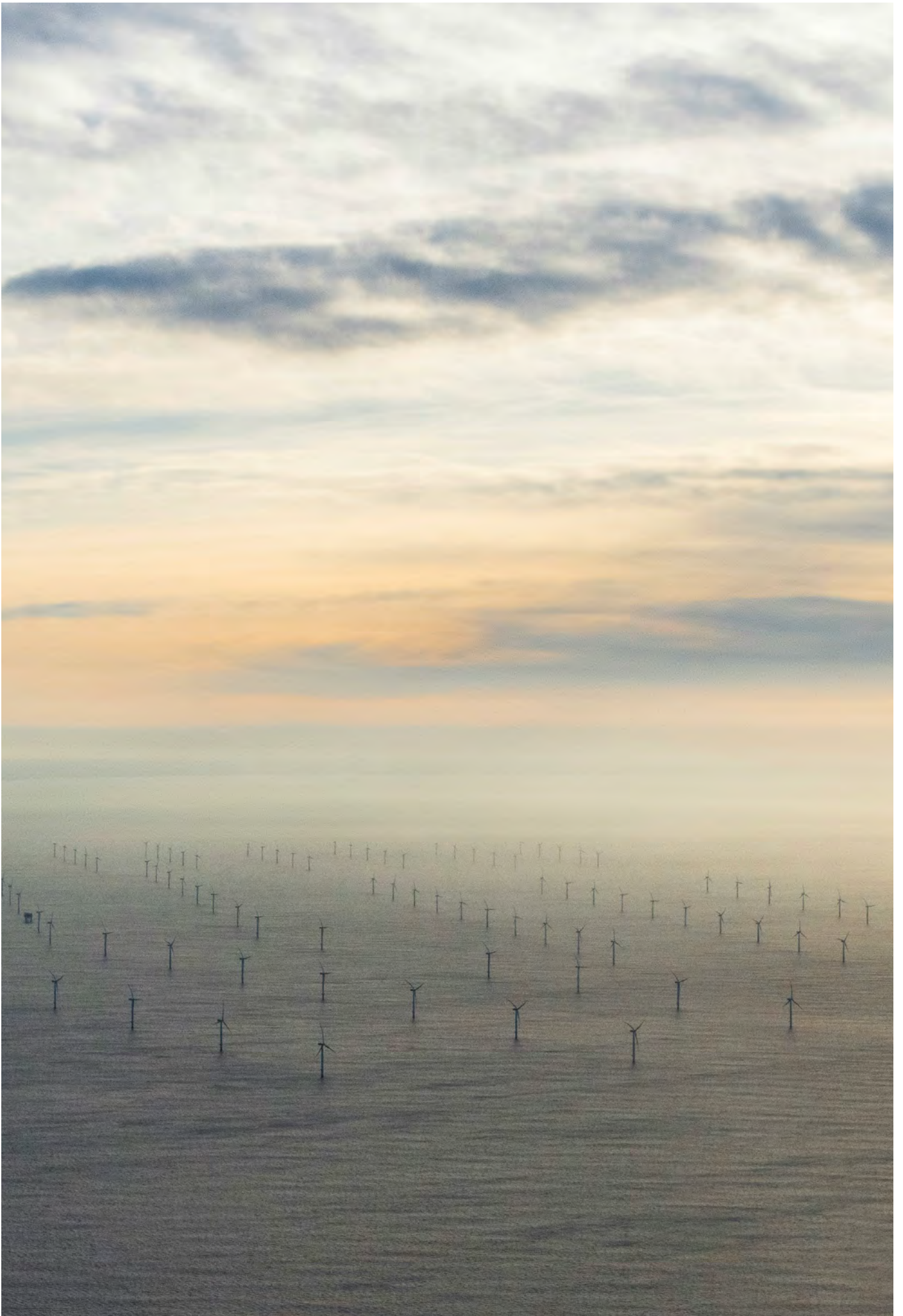
På en måde slutes cirklen. I mange år var det et tabu i den vestlige verden at tale om statsstøtte. Men det er det ikke længere. For tiden er en kritisk faktor. Vi kan ikke løse klimakrisen og nå i mål på rejsen til et nettonul samfund, hvis ikke staten spiller en mere aktiv rolle som katalysator og som en tidlig investor, der er med til at afdække noget af risikoen i markedet. På samme måde kan man via Den Europæiske Investeringsbank, pensionskasser og andre finansielle institutioner mobilisere ekstra investeringskapital til at få skaleret de nye teknologier hurtigere.

I dag er solceller og landvind billigere end fossile brændsler på livslange omkostninger. Sådan var det ikke, da de første virksomhedspionerer satte de første solceller på deres hustage eller stillede vindmøller op i kølvandet på den internationale energikrise i 1970'erne. Dengang var deres omkostninger pr. kWh ikke konkurrencedygtige med de fossile brændsler. Det er de i dag. Takket være målrettet erhvervsstøtte og attraktive incitamenter lagde man dengang grunden til det senere markedsboom for solceller og vindmøller. Man byggede et innovativt økosystem, der blev skaleret globalt. Det samme har Kina gjort med solceller, batterier og elbiler. Vi må lære af erhvervshistoriens store succeser.

Harvard-professor, Michael E. Porter, skrev for 34 år siden i sit hovedværk om nationernes konkurrencemæssige fordele, at staten gennem høje standarder, målrettet forskningsstøtte, strategiske offentlige indkøb og målrettet erhvervsstøtte til modning af kritiske teknologier kan spille en nøglerolle. En missionsdrevet og strategisk erhvervs politik kan stimulere udviklingen af innovative økosystemer og sikre hård konkurrence mellem mange virksomheder, som så kan skalere de nye grønne løsninger op.

KILDER

1. Walter, D. m.fl., X-Change Batteries. The Battery Domino Effect, RMI, 2023.
2. Transport & Environment, An industrial blueprint for batteries in Europe, 12. Maj 2024.
3. JRC, Batteries for Energy Storage in the European Union, 2022.
4. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action, Electricity Storage Strategy, December 2023.
5. Victoria, M. m.fl., Solar photovoltaics is ready to power a sustainable future, Joule 5, 1041–1056, 19. maj, 2021.
6. Ibid.
7. IEA, Electricity 2024 Analysis and forecast to 2026, Januar 2024.
8. Bernuy-Lopez, C., How we get to 100 million tonnes of green hydrogen, Rambøll, 28. September, 2023.
9. Sand et. al., A multi-model assessment of the Global Warming Potential of hydrogen, Nature, 2023.
10. Ocko, I og Hamburg, S, Climate consequences of hydrogen leakage, Environmental Defence Fund, 18. Feb. 2022.
11. Paul Martin, The Myth of Hydrogen as an Energy Export Commodity, Spitfire Research, 24. juni 2022.
12. Agora Energiewende, Breaking Free from Fossil Gas, 2023.
13. Paul Martin, Distilled thoughts on hydrogen, 13. september 2024. <https://www.linkedin.com/pulse/distilled-thoughts-hydrogen-paul-martin/>
14. Eurelectric, Electrification Action Plan, 27. marts 2024.
15. Danfoss, Energy Efficiency 2.0 Engineering the future energy system, 2023.
16. Europa-Kommissionen, Grids, the missing link – An EU Action Plan for Grids, COM (2023) 757 final, 28. November 2023.
17. Elisabeth Cremona, *Breaking borders: The future of Europe's electricity is in interconnectors* | Ember (ember-climate.org), Ember, 14. juni 2023.
18. Danfoss, The world's largest untapped energy source: Excess heat. Danfoss impact. no 2.
19. Carrara, S. m.fl. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study, Joint Research Center, 2023.
20. Walter, D. m.fl., X-Change Batteries: The Battery Domino Effect, RMI, December 2023.
21. Gielen, D. & Papa, C., Materials for The Energy Transition, IRENA, 2021.
22. Walter, D. m.fl. The Battery Mineral Loop. The path from extraction to circularity, juli 2024.



Transformationsvejen – et scenarie for et fossilfrit energisystem i Danmark i 2040

Denne rapport har vist, at Danmark stadig har lang vej igen, før de fossile brændsler er udfaset. Vi er højest kommet en sjettedel af rejsen væk fra det fossile samfund og over til et grønt, bæredygtigt, rent og elektrificeret energisystem, der kan holde sig indenfor de planetære grænser.

Kigger man på hele den danske økonomi under et - og inklusiv vores internationale transport - er 68 pct. af bruttoenergiforbruget stadig fossilt. Se kapitel 3. Og selv om vi er dygtige til at fortælle hele verden om vores vindmølleeventyr, er dette eventyr i de senere år desværre gået i stå. Vi er også langt fra at drive hele samfundet med 100 pct. grøn strøm. Og kigger man blot på vores indenlandske bruttoenergiforbrug – inklusive den fossile energi, der tankes på fly og skibe i Danmark – er blot 13 pct. ren energi fra sol, vind, varmepumper, geotermi og vandkraft. Tal for tal hober udfordringen sig op.

Men det er ikke desto mindre muligt at gøre Danmarks energiforbrug fossilfrit i 2040, selv om det er en svær og krævende opgave. I dette kapitel præsenteres et *transformationsscenario* – T2040 – der indeholder en klar reduktionssti for de fossile brændsler, så de kan være helt ude af vores energiforsyning om 15 år.

Ea Energianalyse har på opdrag fra Rådet for Grøn Omstilling lavet en række grundige beregninger af, hvordan den grønne transformationsrejse kan se ud. Den viser, hvordan man kan bygge et 100 pct. rent og vedvarende energisystem, og samtidig sikre de økonomiske og forsyningsmæssige forhold, som en hurtig omstilling kan medføre.

Målet er at bringe de danske udledninger af drivhusgasser i nul senest i 2040, og at man – som Klimarådet har anbefalet – også tager ansvar for den del af den internationale luft- og søfart, der bunkres i Danmark. Ydermere skal ændringerne i det danske energisystem bidrage til at bringe Danmark indenfor de planetære grænser.¹ Indtil nu har klima- og energidebatten haft en blind vinkel i forhold til de planetære grænser, men Danmarks store ressourceforbrug, stærke afhængighed af fossile brændsler og afbrændingen af fast træbiomasse ligger klart udenfor flere af de planetære grænser.

I analysen har vi forholdt os til spørgsmålet om, hvor langt vi kan nå med reduktion af de danske udledninger via kendte teknologier. Samtidig har vi ønsket at belyse, hvordan det danske energisystem i dag belaster klimaet og de øvrige planetære grænser, herunder arealanvendelse, biodiversitet og partikel-

forurening. Analysen har det overordnede formål at give en helhedsvurdering af, hvad der skal til, for at det danske energisystem kan være bæredygtigt i absolut forstand, så vi ikke belaster jorden ud over dens bæreevne. Kort sagt, er det muligt at omstille vores energisystem til at være i pagt med de planetære grænser? Se tekstboks.

Til analysen af dansk klima- og energipolitik er der opstillet tre scenarier med nedslagspunkter i 2025, 2030, 2035 og 2040. Udgangspunktet for fremskrivningerne er udgangsåret 1990 og basisåret 2022. Hovedresultatet af scenarieanalysen er en gennemgang af forskellene mellem en Frozen Policy udvikling baseret på Danmarks Klimafremskrivning, og så det nye *transformations-scenarie - T2040* - der skal bringe Danmark frem til nettonul i 2040.

Da analysen 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 og opdaterede.

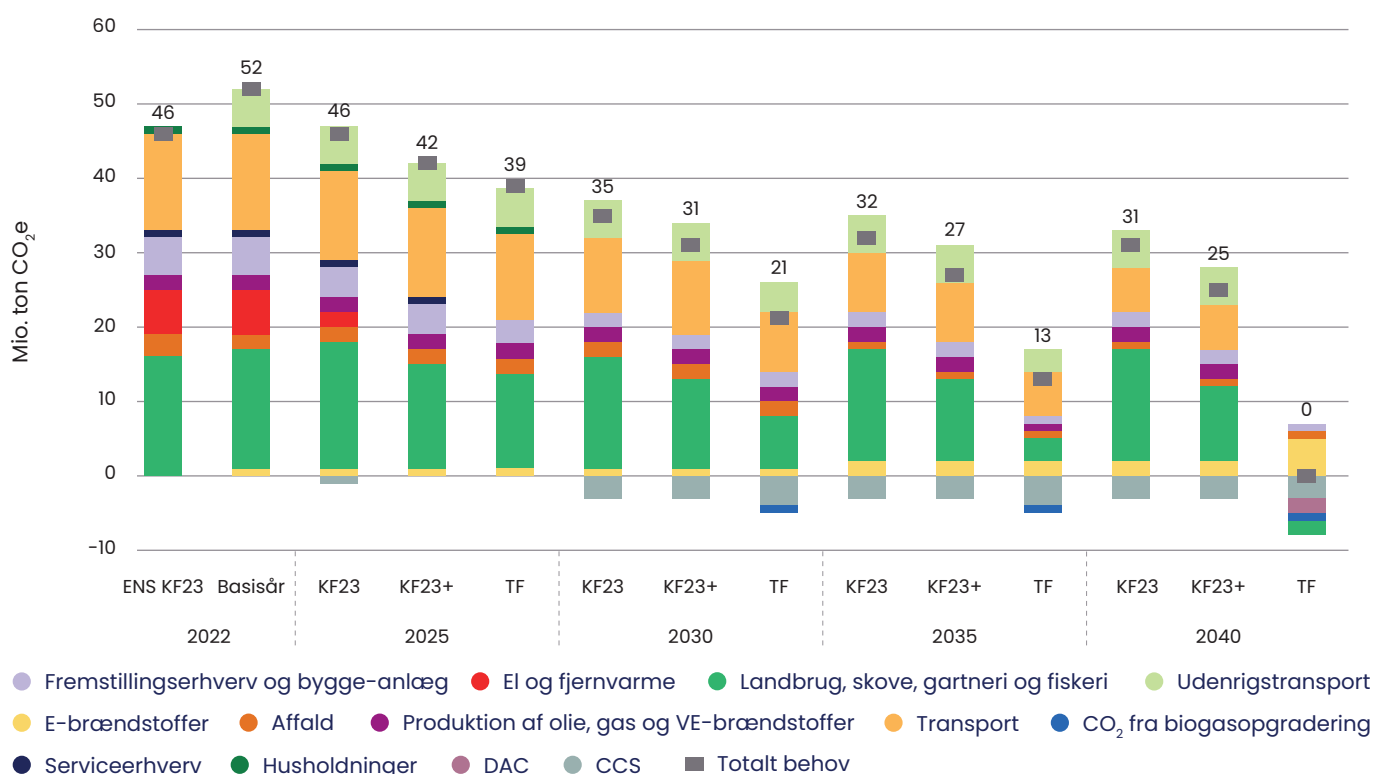
ET ENERGISYSTEM INDEN FOR DE PLANETÆRE GRÆNSER

RGO har opstillet en overordnet ramme for projektet, bl.a. ved tolkning af det sikre operative råderum indenfor "de planetære grænser", herunder for ressourceforbrug og biodiversitet.

Nogle af de centrale præmisser for analysen er:

- Nettonul-udledning af klimagasser i Danmark 2040 og i alle sektorer.
- Ambitiøse tiltag til at sikre en ny bølge af energieffektivisering 2.0.
- Ambitiøs udbygning med ren vedvarende energi, så den kan dække den stigende efterspørgsel efter grøn strøm qua øget elektrificering, voksende PtX-produktion og el-eksport.
- Udfasning af afbrænding af træbiomasse fra udenlandsk import og et bæredygtigt loft for anvendelse af fast træbiomasse til energiformål på godt 10 PJ i 2040 (resttræ).
- Biogasproduktion er begrænset til ægte restprodukter, herunder rester fra græs til proteinproduktion.
- Udfasning af alle olie- og gasfyrrumvarme senest i 2035 via elektrificering med varmepumper, udvidelse af fjernvarmenettet samt mere geotermi.
- Høj grad af elektrificering i alle sektorer, herunder industri og landtransport.
 - ◊ Fuld elektrificering af vejtransporten i 2040
 - ◊ Hurtigere elektrificering af industrien
 - ◊ Indirekte elektrificering af Danmarks internationale sø- og luftfart via øget produktion af e-fuels.
- Cirkulær økonomi og øget genbrug og materialegenanvendelse. Affald til forbrænding reduceres til 25% af forbrænding i 2020.
- Et CO₂-neutralt elsystem med høj forsyningsikkerhed.
- Følger FN's Montreal-protokol og EU's krav om 30% til beskyttet natur.
- Landbruget, der har et stort indlejret forbrug af fossile brændsler, skal også bidrage til, at Danmark kan nå nettonul-målet i 2040. For fødevarerproduktionen følger rapporten anbefalinger fra ni grønne organisationers "Foder til Føde 2"-rapport - herunder en kraftig reduktion i den animalske produktion. Dansk landbrug skal fremstille fødevarer til 10-15 mio. mennesker, men det er primært plantebaserede fødevarer, hvorfor 680.000 hektar kan tages ud af dyrkning, og det åbner op for markant øget skovdrift.²

FIGUR 30. REDUKTIONSTI TIL NETTONUL



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

“Den mere ambitiøse reduktionssti vil samlet spare 207 mio. ton CO₂ frem mod 2040, end der ligger i regeringens klimafremskrivning”

EN SIKRERE VEJ TIL ET BÆREDYGTIGT ENERGISYSTEM

Danmark kan blive 100 pct. selvforsynende med ren vedvarende energi, og opnå nettonulemissioner i 2040. Transformationsscenarioet (T2040) i dette kapitel viser, at det er teknisk muligt og økonomisk realistisk at opbygge et balanceret, sikkert og absolut bæredygtigt energisystem med sol, vind, varmepumper og geotermi - stort set uden afbrænding af biomasse, og kun med en lille smule spidslast til ekstreme vejrlig. På sigt kan større energilagring, herunder på batterier, fjerne behovet for fyring med spidslast. En hurtigere opskalering med energiefektiviseringer og vedvarende energi kan sammen med en mere ambitiøs elektrificering, mere cirkulær økonomi og ambitiøs skovrejsning sikre store klimaeffekter, så Danmark kan holde sig indenfor 1,5 graders rammen fra FN's Paris-klimaaftale. Og vi kan ovenikøbet tage ansvar for vores andel af den internationale transport, som indtil nu har været holdt udenfor det nationale klimaregnskab.

Samlet set sikrer T2040 markant større klimagevinster frem mod 2040, end der ligger i regeringens klimafremskrivning. Den mere ambitiøse reduktionssti vil samlet set fjerne ekstra 207 mio. tons CO₂e frem mod 2040. Se figur 30.

Den store CO₂-besparelse i T2040-scenarioet vil have en akkumuleret værdi af 267 mia. kr., hvis man regner ud fra den forventede CO₂-pris i 2040.³ Men der er

også en række udgifter til investeringerne. Så hvordan ser regnestykket ud for transformationsscenarioet?

Den samlede regning for at gøre det danske energisystem fossilfrit er beregnet af Ea Energianalyse. Transformationsscenarioet har meromkostninger, der er beregnet til 5,4 mia. kr. i 2040.

Figur 31 angiver den samlede omkostning til 6,2 mia. kr./år, men denne udregning har ikke medtaget 800 mio. kr. i ekstra omkostninger i reference-scenarioet, fordi Danmark er forpligtet til at leve op til FuelEU Maritime-initiativet, der kræver, at søfarten dekarboniserer med mindst 31% i 2040. Transformationsscenarioet mere end leverer på dette punkt.

Desuden kan man også sænke omkostningerne i T2040-scenarioet med 920 mio. kr., hvis man opsætter varmepumper i de yderområder, som ellers var tiltænkt opkobling til fjernvarmen. Gevinsten ved flere varmepumper, termonet såvel som mere geotermi i fjernvarmeforsyningen kan rumme ekstra potentialer, der bør tages med i fremtidige undersøgelser.

Denne analyse har ikke medregnet omstillingsudgifter i landbruget, udgifter til øget skovrejsning eller den økonomiske betydning ved at stoppe for olie og gasproduktionen i Danmark.

Ligeledes er virkemiddelomkostninger til indfrielse af de antagne udviklinger ikke inkluderet. Der kan være ekstra omkostninger forbundet hermed, som bør kortlægges i separate analyser. Dog

SÅDAN HAR VI GJORT

Ea Energianalyse har til sine beregninger brugt tal fra Energistyrelsens teknologikatalog, og beregningerne er lavet på den såkaldte Balmorel-model, der tager højde for, at det danske energisystem er en del af det indre europæisk energimarked.

Analysen bygger på en række forudsætninger og grundantagelser.

- 2022 danner udgangspunkt for analysen.
- Energi-, klima og landbrugsdata for opstilling af udgangspunktet kommer fra Energistyrelsens Klimafremskrivning 2023 (KF23).
 - ◊ Energiforbrug og udledninger fra visse sektorer er tillagt udgangspunktet, fx international søfart og udenrigsluftfart.
 - ◊ Scope-3-udledninger (også kaldet forbrugsudledninger) er ikke medtaget i beregningerne.
- Den samlede udledning i startåret 2022 er opgjort til 52 mio. ton CO₂, da der i KF23+ scenarioet er medtaget ekstra 5 mio. ton CO₂ fra den energi, der i Danmark fyldes på internationale fly og skibe. De største udledninger kommer fra energiforsyning, transport og landbrug og arealanvendelse. Det endelige energiforbrug fra aktiviteter i Danmark er i 2022 opgjort til 654 PJ.
- Vækstdrivers som følge af økonomi, forbedret infrastruktur, stigende indbyggertal mv indgår i scenarierne. 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. . 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.
- Trafikvæksten i alle scenarier følger udviklingen i KF23. Bl.a. 24 pct vækst i personbiler. Man regner også med høj vækst i brændstof til int. luftfart med 61 pct. frem mod 2040.
- Der ses som udgangspunkt ikke på en ændret erhvervsstruktur (fx lukning af tung industri, lavere udbygning med datacentre osv.).
- Analysens reference-scenario KF23+ tager udgangspunkt i KF23, men medtager udenrigstransport og nye udviklingstendenser. Herunder er bl.a. inddraget de nye opgørelser af lavbundsgrunde, samt skovfremskrivning, da det har en markant positiv effekt på opnåelse af de danske klimamål ift. et rent KF23-scenario.

FIGUR 31. ØKONOMISKE OMKOSTNINGER VED TRANSFORMATIONEN

Mio. kr/år	2025	2025	2025	2025
National transport	229	-1029	-2143	-7137
International transport	-	2820	4530	9390
Rumvarme (husholdninger og service)	-277	-1267	-1177	114
Fremstillingsvirksomheder (Procesvarme)	431	81	71	108
No-road	78	630	1553	2114
CCS (udover EI/fjernvarme og biobrændstof)	-	1440	1440	1440
Elsektoren	-	-214	-62	-206
Brintsektoren	-	-8	3	97
Affald (udsortering)	-	-	88	273
Skovrejsning/landbrug	-	-	-	-
Total	461	2451	4303	6194

Tabel: Ea Energianalyse, 2024. Økonomiske meromkostninger i Transformationsscenarioet ift. referencen. Positive tal angiver en meromkostning. Udgifter til omstilling af landbrug og skovrejsning samt virkemiddelomkostninger er ikke inkluderet.

har Rådet for Grøn Omstilling lavet en beregning, der viser, at ekstra skovrejsning i T2040-scenariet rent samfundsøkonomisk vil være en overskudsforretning.

Investeringerne i T2040-scenariet tænkes som hovedregel udført af private kommercielle aktører. Analysens beregninger bygger derfor på en konservativ antagelse om, at markedsaktørerne vil anvende en realrente på 5 pct. ved omkostningsberegninger for energiproduktions-anlæg, CO₂ fangstanlæg, PtX anlæg mm.

Transformationsscenarioet forudsætter større investeringer i vedvarende energianlæg og de nye grønne teknologier, og renteniveauet har stor betydning. Ved samfundsøkonomiske beregninger anbefaler Finansministeriet, at man ved anlæg på 0-35 år anvender en diskonteringsrente på 3,5 pct., og hvis denne

anvendes, vil den endelige regning ligge væsentlig lavere end angivet i denne analyse.

Enkelte sektorer viser dog alligevel et positivt nettoresultat, hvor Transformationsscenarioet medfører lavere omkostninger end i referencen. Dette gælder bl.a. en elektrificering af vej-transporten og omstillingen i dele af opvarmningssektoren (omstilling til varmepumper) og dele af industrien (elektrificering af lavtemperaturprocesser). Se tabel

Analysen bygger på forventningerne til den langsigtede prisudvikling for de forskellige teknologier. For olieprodukter, kul og naturgas samt CO₂ er tallene hentet fra IEA's World Energy Outlook 2023. Og grundantagelsen er, at der er en samfundsøkonomisk værdi for Danmark ved at reducere CO₂-udledning

SÅDAN ER DER REGNET:

Ea Energianalyse har i hvert analyseår beregnet omkostningerne ved at gennemføre TF scenariet, og det er opgjort 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 lavbundsgrunde og afvikling af offshore og olieraffinering.

FIGUR 32. FORVENTEDE FORBRUGERPRISER FOR EL, KR/MWH

Elpriser	2030		2035		2040	
	KF23+	TF	KF23+	TF	KF23+	TF
Gennemsnitlig forbrugerpris (klassisk elforbrug, elbiler, varmepumper)	588	589	489	486	482	485

Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

gerne. I analysen er CO₂-prisen sat til 767 kr./ton i 2025 og 1407 kr./ton i 2040. Det er højere end de priser, som Finansministeriet anvender indenfor kvotesektoren. Men det er lavere end de CO₂e-priser, som Klimarådet anbefaler ved følsomhedsanalyser (812 kr./ton i 2025 og stigende til 2758 kr./ton i 2040)

Værdisætningen af CO₂ har dog væsentlig betydning for det samlede økonomiske estimat. Når der ses bort fra eventuelle afledte effekter, vil en højere værdi af CO₂ i 2040 på 100 kr./ton forbedre økonomien i Transformationsscenarioet på ca. 1,2 mia. kr./år i forhold til referencescenarioet. Det betyder med andre ord, at hvis CO₂-prisen overstiger 1950 kr./ton, vil T2040 forslaget anbefalinger til energisektoren være billigere end referencescenarioet.

I analysen er der anvendt relativt konservative antagelser for prisudviklingen for sol- og vindenergi frem mod 2040, hvilket måske er mere pessimistisk, end der grundlag for.

Disse prisantagelser ligger f.eks. noget over de tal, Energistyrelsen anvender i Klimafremskrivning 2024. Her ventes den årlige gennemsnitlige forbrugerpris (angivet i 2023-priser), at være 432 kr./MWh i 2030 og 415 kr./MWh i 2035. Der forventes dog større prisfald for solceller, hvor elprisen i 2035 vil være 125 kr./MWh – eller cirka 70 pct. lavere end i 2025. Ligeledes ventes elprisen for landvind at blive halveret til 253 kr./MWh i 2035.

Ingen kan med sikkerhed sige, hvordan prisudviklingen vil være i de kommende år, eller om nye krige, geopolitiske konflikter, nye pandemier, klimatiske tipping points eller nye teknologispring vil føre til store ændringer i markedet. Men sol- og vindenergi har leveret kraftige prisfald i de sidste par årtier, fordi det er granulære teknologier, der er skaleret hurtigt på markedet. Og meget taler for, at den udvikling vil fortsætte. (Se også kapitel 5) Bliver prisfaldene så store, som det fremgår af klimafremskrivningen sænkes de samlede omkostninger i T2040-scenarioet, da det har en højere andel vind- og solenergi.

Den øgede udbygning af landvind og sol vil isoleret set føre til en gevinst for Danmark i form af lavere elpriser til forbrugerne, og fra 2025 til 2040 viser

analysen, at elpriserne vil falde med 35-45 pct. alt afhængig af, om man bor i Østdanmark eller Vestdanmark. Det bliver borgerne i Vestdanmark, der kommer til at opleve de største fald i elpriserne, men de fremstiller også mere vedvarende energi.

VÆKST, TILSTRÆKKElighed OG TUNNELSYN

Forventningerne til vækst, teknologjudvikling, politiske reguleringer og adfærdsændringer har stor betydning for, om det lykkes at bringe energi- og ressourceforbruget indenfor de planetære grænser. I analysen er der ikke ændret på de etablerede forudsætninger for vækst på tværs af sektorer, da vi har ønsket at få anskueliggjort, hvor langt man kan komme uden væsentlige adfærdsændringer. Det vil dog være positivt, hvis man politisk og økonomisk stimulerer til en ændret adfærd og større grad af *sufficiency* – dvs. tilstrækkelighed. Et mindre energiforbrug gennem effektiviseringer og reelle energibesparelser vil gøre det lettere at holde sig indenfor de planetære grænser, og det vil sænke udgifterne til udbygning af energiproduktionen og af transmissionsnettet.

I sidste instans er det op til politikerne, om de ønsker at stimulere adfærdsændringer gennem højere klima- og miljøafgifter. Desuden kan ændrede værdier og ønsker om mere tid og velvære slå igennem hos en voksende gruppe borgere, som fører til et socialt tippepunkt og adfærdsændringer med et lavere energi- og ressourceforbrug.

I teknologikapløbet kan man heller ikke afvise, at der sker en større og hurtigere elektrificering af industrien og af sø- og luftfarten, end der er lagt til grund i beregningerne. I givet fald opnås betydelige økonomiske besparelser, da e-fuels er dyre at fremstille, kræver ekstra kulstof og indebærer store energitab.

Analysen har generelt haft til formål at finde frem til, hvilke potentielle "lofter" eller "grænser", der kan findes i et fremtidigt energisystem, hvilket diskuteres nedenfor. Den eneste afvigelse fra dette princip om uændrede vækstforudsætninger er landbruget, som bør gennemføre væsentlige ændringer, hvis erhvervet skal tage sin fair andel af klimaomstillingen. I rapporten forudsæt-

“Den øgede udbygning af landvind og sol vil føre til lavere elpriser til forbrugerne, og fra 2025 til 2040 vil elpriserne falde med 35-45 pct.”

tes det, at landbruget reducerer sine udledninger på linje med de øvrige sektorer og kan nå netto-nul i 2040. Det kræver dog en langt mere ambitiøs og strukturel omstilling af landbruget, end det er aftalt i den seneste trepartsaftale.

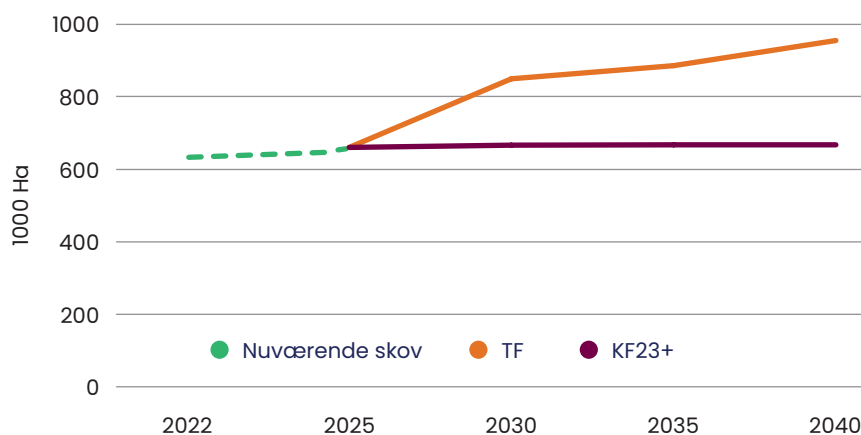
Vi har i denne analyse ikke forholdt os til de konkrete virkemidler, men læner os op ad nylige rapporter – dels om "Danmarks Fremtidige Arealanvendelse" fra Klimarådet⁴ og "Fra Foder til Føde 2" fra ni grønne NGO'er, herunder Rådet for Grøn Omstilling. Begge rapporter anviser en række anbefalinger til at sikre markante reduktioner fra landbruget via udtagning af op imod 1/3 af landbrugsarealet eller op til ca. 760.000 hektar. Klimaeffekten fra de udtagne arealer kommer dels fra vådlægning af lavbundslande, skovrejsning på øvrige arealer. I "Fra Foder til Føde 2" reduceres den animalske produktion markant via et skifte til mere plantebaseret mad.

Derimod er der ikke lagt op til en så kraftig økonomisk satsning på nye teknologier, herunder pyrolyse, der blev aftalt i trepartsaftalen. T2040 scenariet lægger op til, at der sikres større klimagevinster via strukturel omstilling og adfærdsændringer. Der skal også frigøres et tilstrækkeligt stort areal til bl.a. øget skovrejsning, biodiversitet og mere vedvarende energi.

Som det blev beskrevet i kapitel 4, overskrider vi i dag de planetære grænser på hele seks af ni parametre. Og det danske energisystem overskrider grænserne i forhold til klima, partikelforurening, arealanvendelse og biodiversitet.

Indtil nu har dansk klimapolitik primært fokuseret på at nedbringe CO₂e-udledningerne, men i jagten på reduktioner, er det vigtigt, vi ikke forfølger et snævert CO₂-tunnelsyn. Den store danske afbrænding af særligt træbaseret biomasse er et klart eksempel på dette tunnelsyn. Mens biomassen registreres som CO₂-fri energikilde i energisektoren, påvirker den CO₂-balancen i LULUCF-forordningen negativt. Ifølge regeringens finanslovsforslag vil staten i perioden fra 2022-2028 give hele 4,6 mia. kr. i statsstøtte til afbrænding af træbiomasse, der fremstiller el. Det er ikke alene konkurrenceforvridende ift. sol- og vindenergi, men det er også klimabelastende. Oveni tjener disse biomassekraft-

FIGUR 33. AREAL MED SKOV



Kilde: RGO-fremskrivning sammenlignet med regeringens klimafremskrivning.

værker penge på at sælge oprindelsesgarantier – som såkaldt vedvarende energi – selv om de i praksis sender mio. af ton CO₂ ud i atmosfæren. Denne form for direkte og indirekte statsstøtte afvikles i transformationsscenarioet, hvor fyringen med fast træbiomasse udfases og erstattes med grøn strøm.

Da ca. 30% af det danske biomasseforbrug til energi importeres, belaster det på papiret ikke det danske CO₂-regnskab, og dermed skjules dets skadelige klimapåvirkning. Straksudledningen fra afbrændingen af træbiomasse er over 15 mio. ton CO₂, men den tidsvægtede klimavirkning er cirka 4 mio. ton.

Samtidig påvirker overforbruget af træbaseret biomasse de planetære grænser på tre afgørende parametre. A) Arealanvendelsen kommer under pres, når sparsomme træressourcer fældes til energiformål. Det er bydende nødvendigt af hensyn til biodiversiteten, at der afsættes større og sammenhængende arealer til skovområder, men øget udtag til energi udfordrer den målsætning. B) Typen af skov er også afgørende for biodiversiteten. I en typisk dansk produktionsskov findes godt 5,7-6,5 kubikmeter dødt ved pr. hektar, mens der i urørte skove i gennemsnit findes mellem 130-150 kubikmeter dødt ved pr. hektar⁵. Manglen på urørt skov og dødt ved i produktionsskov er en direkte årsag til den dårlige biodiversitet i store dele af de danske naturtyper, hvor både svampe-

plante- og dyrearter mangler levesteder. C) Afbrændingen af biomasse fører til øget partikelforurening, hvilket øger risikoen for en række luftvejssygdomme for borgerne.

I transformationsscenarioet lægges der derfor op til en meget ambitiøs plan for skovrejsning, hvor der frem mod 2040 rejses cirka 320.000 ha. ny skov. Det er 290.000 ha. mere end antaget i regeringens klimafremskrivning. Det er også mere end de 250.000 ha, som aftaleparterne i landbrugets trepartsaf-tale ønsker at rejse frem mod 2045. Se figur 33.

En del af den nye skov skal udlægges til urørt skov for at fremme biodiversitet. I dag er der 74.100 ha. udlagt og planlagt urørt skov, men T2040-scenariet vil føre til, at der udlægges ekstra 140.000 ha. til urørt skov frem mod 2040, og det skal være i store sammenhængende arealer, som også anbefalet af Biodiversitetsrådet.

HASTIGE OG DYBE REDUKTIONER – MEN MANGEL PÅ KULSTOF

I transformationsscenarioet reduceres drivhusgasudledningen til nettonul i 2040 via fuld udfasning af fossile brændstoffer, hurtigere elektrificering, energibesparelser, en nidobling af sol- og vindenergi frem mod 2040, udfasning af træafbrænding, øget affaldssortering, strukturel omstilling af landbruget, øget skovrejs-

ning. Sidst i perioden kan der blive brug for den dyre direct-air-capture (DAC) teknologi for at skaffe ekstra kulstof, fordi danskerne stadig forventes at rejse meget med fly, og der skal laves klimaneutrale e-brændstoffer til disse fly.

Men T2040-scenariet viser, at selv hvis Danmark tager ansvar for sin andel af den internationale transport, er det muligt at nå netto-nul allerede i 2040. Det kræver dog hurtigere og dybere reduktioner i CO₂e-udledningerne, som især bæres igennem af en accelereret elektrificering i alle sektorer.

I tråd med klimaforskningens anbefalinger sker de største reduktioner frem mod 2030, hvor der reduceres med over 30 mio. ton CO₂ ift. 2022-niveauet. Samtidig opfyldes klimalovens 2030-målet om 70% reduktion ift. 1990 – og det endda næsten også, selv om emissionerne

”I jagten på reduktioner er det vigtigt, at vi ikke forfølger et snævert CO₂-tunnelsyn”

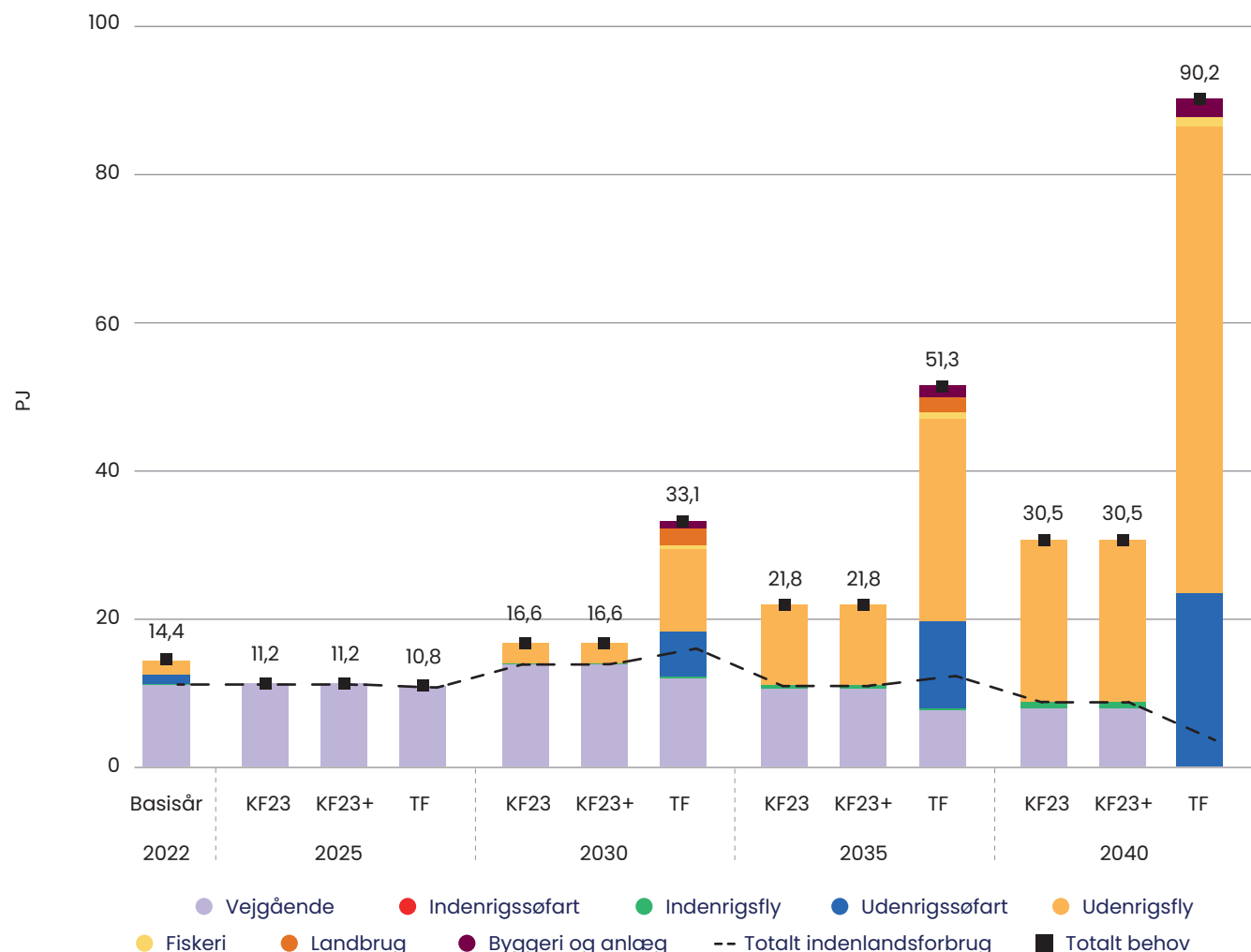
forbundet med udenrigstransport inkluderes. Eksklusiv international transport overopfyldes målsætningen med ca. 3,1 mio. ton/år.

Dermed får vi en større sikkerhedsbuffer, og den kan være god at have, hvis man senere i 2020'erne får nye tal for lavbundsjord eller skov, der er mindre positive end de seneste opdateringer.

Denne buffer gør også klimapolitikken mere resilient, hvis forventningerne til CO₂-fangst i regeringens klimafremskrivning ikke lever op til forventningerne.

Danmarks andel af udenrigsluft- og søfarten er beregnet ud fra, hvad der tankes/bunkres i Danmark. Der er givet en underestimering af danskernes energiforbrug ved international transport, da mange danskeres flyrejser til udlandet indebærer mellemlandinger, hvor der tankes ekstra op undervejs. Analysen viser, at der bliver behov for at fremstille 90 PJ vedvarende energibrændstoffer i 2040, hvis vi fortsat vil flyve til udlandet og have et stærkt maritimt erhverv. Luft- og skibsfart over lange distancer ser desværre stadig ud til at være svære at elektrificere, og både elektrofuels og biobrændstoffer kommer derfor til at spille en afgørende rolle, så vi kan sænke deres klimaaftryk. Se figur 34.

FIGUR 34. FORBRUG AF FLYDENDE VE-BRÆNDSTOFFER



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

For at fremstille store mængder elektrofuels til den internationale transport, kan der også blive behov for at skaffe mere kulstof. Se figur 35.

Da biogent kulstof er en knap og dyr ressource, har denne analyse taget udgangspunkt i, at søfarten fra 2040 i overvejende grad vil vælge at sejle på kulstoffrit brændstof, dvs. e-ammoniak, mens kulstoffet primært anvendes til flybrændstoffet e-kerosen.

I perioden fra 2025-2040 vil der dog være en del skibe, herunder fra Mærsk, der sejler på e-metanol. Men vores forventning er, at e-ammoniak over tid kommer til at dominere i den maritime sektor på de lange distancer. Det kræver dog skærpede sikkerhedskrav til skibene, da ammoniak er meget giftigt og kan påføre havmiljøet store skader, hvis der opstår udslip. Da energiintensiteten er tre gange lavere end ved fossile brændsler, vil det være mere pladskrævende at bruge som brændsel. Totaløkonomisk vil e-ammoniak dog være billigere for skibene at bruge end kulstofholdige VE-brændstoffer. Det er muligt, at der også efter 2040 vil blive anvendt noget kulstof i søfarten, men så skal der frigøres kulstof andre steder for at få regnestykket til at gå op. En mulighed er, at den forventede 61 pct. stigning i luftfarten frem mod 2040 bliver lavere end forventet, f.eks. hvis der indføres højere flyafgifter. En anden mulighed er øget elektrificering.

I analysen er der taget højde for, at søfarten på de korte distancer vil være elektrificeret i 2040, men måske kan længere ruter elektrificeres. I Kina er der allerede fragtskibe, der sejler over 1000

“Det er en faktor ni revolution, men vi skal op i det niveau for at fortrænge alle fossile brændsler i hele det danske energiforbrug.”

km med 700 tyvefods containere om bord. Om længere ruter og større elektriske fragtskibe i fremtiden vil sejle på el, afgøres primært af teknologiudviklingen indenfor batterier. (Se kapitel 5) I takt med at batterierne bliver større og får højere energiintensitet, kan det åbne op for, at større dele af sø- og luftfarten kan drives frem af el eller hybrid-teknologier bestående af brint og el. Det er dog ikke lagt til grund for analysen, at disse løsninger er slået igennem på markedet i 2040 for den internationale transport på de lange distancer.

BEHOV FOR MEGET MERE GRØN STRØM

Kigger man frem mod 2030 og de politiske vedtagne planer for udbygningen af vedvarende energi, er der stadig ikke vind og sol nok på tegnebrættet til at fortrænge den fossile energi i Danmarks energisystem, endsige til at dække behovet for grøn strøm i de nye PtX-fabrikker.

Klimaaftalen om grøn strøm og varme fra juni 2022 satte et politisk mål om at firedoble elproduktionen fra landvind og solceller frem mod 2030. Det svarer til omkring en fordobling af den forventede produktion i 2030 ifølge Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning 2023. Aftalen kom i stand i kølvandet på Ruslands invasion af Ukraine, der havde udløst en energikrise, og fik mange politikere til at efterlyse en markant udbygning med vedvarende energi. Siden da er der indgået flere energiforlig, og hver gang er der føjet nye løfter til om ekstra GW. Men indtil nu kniber det med at levere på alle løfterne.

Et af de brændende spørgsmål er, hvad der sker med det, der i sin tid blev lanceret som Danmarks nye ”Mars mission”: De to energigøer i hhv. Nordsøen og ved Bornholm. Fuldføres de, kunne Danmark teoretisk set gå fra ca. 40 TWh i dag til 130 TWh i 2035.

Men løfterne er stødt på grund. Energigøen i Nordsøen er indtil videre udskudt fra 2030 til 2036, fordi man ikke kan få driftsøkonomien til at hænge sammen. Det vil kræve et tocifret milliardbeløb fra statens side at få projektet op at flyve. Regeringen håber, at den tyske forbundsregering vil være med til at medfinansiere energigøen og kablerne. Det er dog ret usikkert, for i Tyskland har man en åben dør ordning, hvor staten får milliarder af markedets operatører for at åbne op for nye havvindmølleprojekter. Ligeledes er Energigø Bornholm stærkt udfordret, selv om politikerne har givet grønt lys for op til 18 mia. kr. i statsstøtte, men omkostnin-

FIGUR 35. BRINT-, KULSTOF- OG BIOGASBEHOV I T2040

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

Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

gerne i projektet ser ud til at løbe op til 31,5 mia. kr. Tænk tanken Kraka Economics har kaldt det for "en økonomisk katastrofe i slowmotion".

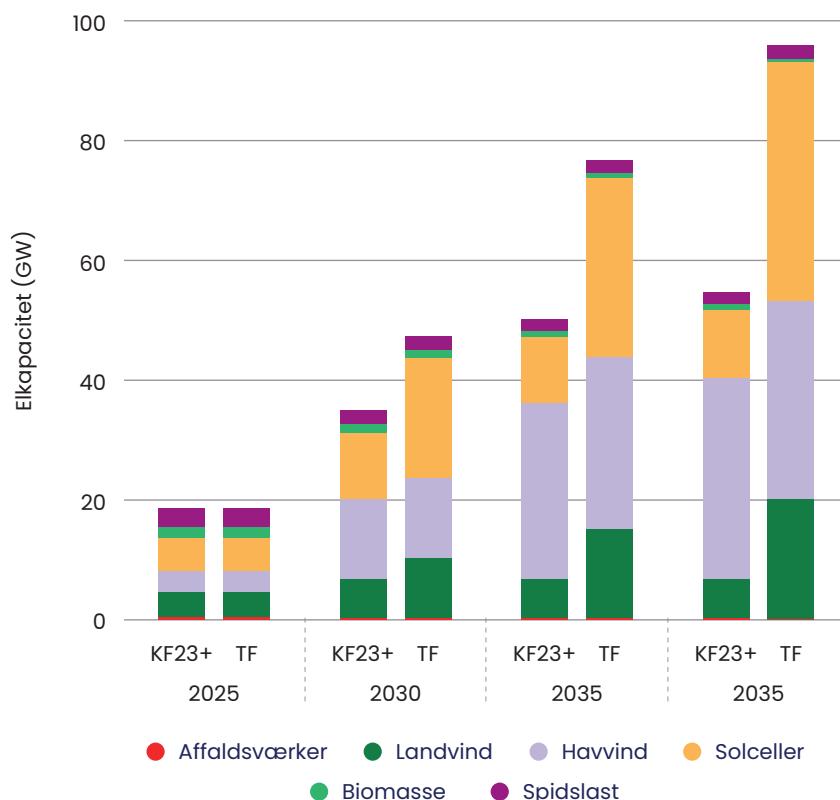
Den politiske og økonomiske usikkerhed om energioverne kan medføre negative følger i forhold til udbygningen med vedvarende energi i Danmark. Tidligere har regeringen aflyst den såkaldte åben-dør ordning for mere havvind, hvor der var projekter for op til 23 GW i pipelinen. Siden har man aftalt en ny model for kommende udbud, hvor staten via en koncessionsaftale kræver et medejerskab på 20 pct. Disse kursændringer har ført til forsinkelser i processen.

I april 2024 åbnede Energistyrelsen endelig for en ny udbudsrunde, som potentielt kan føre til mellem 6-10 GW ekstra havvind, men selv hvis den bliver succesfuld, er vi langt fra at dække den stigende efterspørgsel efter grøn strøm eller at virkeliggøre de store planer for en ny Power to X industri i Danmark.

Også planerne om at firedoble produktionen med sol- og vindenergi på land frem til 2030 går langsommere end forventet. Selv om flere nye solcelleanlæg i 2023 gav danskerne 53 pct. mere solenergi, er opstillingen af nye landvindmøller gået i stå og i det forløbne år er der kun opstillet en vindturbine på land. Planerne om at få udlagt store vedvarende energizoner og få accelereret godkendelsesprocesserne er stadig ikke ført ud i livet.

T2040-scenariet lægger op til, at den øjeblikkelige stilstand stopper, og at der laves en større og hurtigere udbygning med sol- og vind. En række af de bureaukratiske stopklodser skal fjernes, der skal udlægges vedvarende energizoner på land og til havs, og det anbefales, at der laves en ny åben dør 2.0 ordning. Via klare og harmoniserede prækvalifikationskrav kan man åbne døren til markedsbaserede bud på en stribe nye offshore projekter. Sagsbehandling og miljøgodkendelser bør ekspederes hurtigt og smidigt, så lange ventetider på flere år kan nedbringes til måneder. Staten bør blot kræve, at offshoreprojekterne lever op til udvalgte ikke-priskriterier – f.eks. sikring af miljø og biodiversitet. Og så kan man lave en simpel model for overskudsdeling.

FIGUR 36. ELPRODUKTION I DANMARK I DE OPSTILLEDE SCENARIER, KAPACITET, GW



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

Generelt anbefales det, at Danmark i forhold til nye VE-projekter tager EU's nødretsforordning i brug, så man sikrer en langt hurtigere behandling af miljøtilladelser og godkendelse af projekterne. Det kan accelerere opstillingen af VE. Og det er der brug for.

FAKTOR 9 REVOLUTIONEN FOR GRØN ENERGI

I basisåret 2022 var Danmarks bruttoenergiforbrug (inklusive bunkret energi til vores internationale luft- og søfart) cirka 750 petajoule, hvilket kan omregnes til cirka 208 TWh. Men i T2040-scenariet vil den voksende produktion af e-fuels og den omfattende elektrificering af alle sektorer, øge efterspørgslen efter grøn strøm, og det samlede forbrug stiger til omkring 250 TWh.

Den samlede kapacitet for sol- og vindenergi øges med 4,3 gange frem mod 2030, som er højere end den firdobling, der allerede er politiske aftaler om. I 2030'erne speedes yderligere op, og der

forventes en markant udbygning af landvind (til 20 GW), solceller (til 40 GW) og havvind (til 33 GW) i 2040. Den samlede kapacitet af sol- og vindenergi vil samlet set være mere end ni gange højere i 2040 i forhold til basisåret 2022. Der er tale om en faktor ni revolution, men vi skal op i det niveau for at fortrænge alle fossile brændsler i hele det danske energiforbrug. Der vil dog være en lille rest af spidslast på knap 3 GW, hvoraf under en femtedel kommer fra restbiomasse. Se figur 36.

Der bliver her behov for at udtage lidt større arealer til vedvarende energi, men det er en begrænset udfordring, som er til at overvinde. Etablering af 40 GW solceller i 2040 - og heraf trefjedredel på bar mark - vil kræve cirka 42.000 hektar eller knap 1 pct. af Danmarks samlede landareal.⁶ Og vindmøllerne kræver ikke meget plads, og de kan sameksistere med både landbrugs- og skovarealer. Man kan også udnytte frie arealer langs motorveje, over parkeringspladser og store tagarealer. Ifølge Klima-, Energi- og

“Udbygningen med sol- og vindenergi er nødt til at medtænke hensynet til biodiversiteten, så de nye projekter bidrager til naturpositive løsninger, der også er til gavn for de lokale borgere”

Forsyningsministeriet kan op imod 98 pct. af arealerne omkring vindmøllerne bruges til andre formål. Den øgede kapacitet med vindenergi i 2040 kan i vidt omfang dækkes via nedtagning af gamle og små møller og ved at udskifte dem – via *repowering* – med større og moderne møller. Der er et minimalt arealbehov forbundet med udvidelsen af vindenergi- en på land.

Flere steder i landet skal der dog bruges ekstra areal til etablering af flere elledninger på højspændingsmaster, men en del af transmissionsledningerne nedgraves i jorden, og arealbelastningen er for intet at regne i forhold til den belastning, som f.eks. vejtransporten har.

I dag lægger Danmarks forbrug af biobrændstoffer alene beslag på 100.000 hektar landbrugsjord – i og udenfor Danmarks grænser. Denne jord kunne have et samlet årligt lagringspotentiale på 1 mio. ton CO₂, hvis man lod det springe i skov. EU's samlede forbrug af biobrændstoffer lægger i dag beslag på 5,3 mio. ha. landbrugsjord (dvs. 1 mio. ha. mere end Danmarks samlede areal), og det samlede klima og arealregnskab er negativt.⁷ Solceller er også en langt mere effektiv måde at bruge arealer til energiformål. Man skal bruge 40 gange mindre jord til at drive en elbil med strøm fra solceller, end en bil med forbrændings-

motor, der drives af biobrændstoffer. Udbygningen med sol- og vindenergi er nødt til at medtænke hensynet til biodiversiteten, så de nye projekter bidrager til naturpositive løsninger, der også er til gavn for de lokale borgere. Der kan opstå reelle dilemmaer mellem grøn energiproduktion og biodiversitet, der skal løses. Men de burde være til at løse. Se *tekstboks på side 92*.

De stigende mængder vedvarende og fluktuerende energi vil også øge behovet for energilagring. I T2040-scenariet er der dog ikke lavet mere udførlige beregninger af, hvordan lagringsbehovet vil udvikle sig. Det kræver videre studier, der også tager højde for den hastige forandring indenfor batteriteknologierne. Der er flere måder at lagre mere på, og det kan blive ekstra værdifuldt – f.eks. hvis transmissionsnettet ikke udbygges tilstrækkeligt hurtigt i EU. Se *tekstboks*.

Danmarks energisystem er ikke en isoleret ø i verden. Vi er tæt forbundet med vores nabolandes energisystemer, og via transmissionsforbindelser importerer vi vandkraft fra Norge, atomkraft fra Sverige, og vi får både vedvarende energi, fossil el og atomkraft fra de andre EU-lande. Vi er del af et indre europæisk marked. Det påvirker prisudviklingen, hvordan de andre landes energisystemer udvikler sig, hvilke energiformer de

ENERGILAGRING – LIMEN I OMSTILLINGEN

En fortsat udfordring i forhold til omstillingen til vedvarende energikilder som sol og vind er lagring – hvordan vi sikre en stabil forsyning af energi de dage, hvor solen ikke skinner, eller hvor der er vindstille.

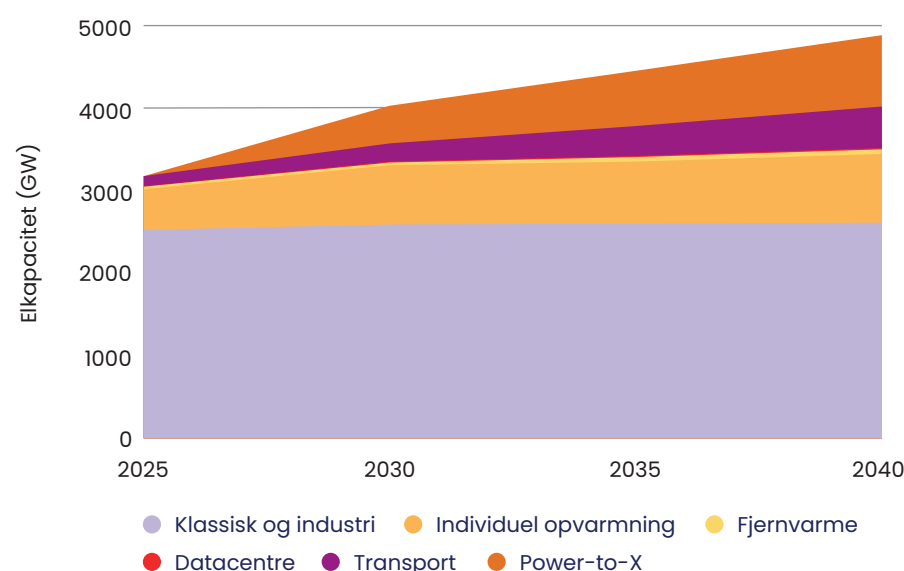
Modsat fossile energikilder der kan lagres, står vi overfor en vigtig opgave, når det kommer til at udvikle effektive lagrings- og konverteringsteknologier, der kan gemme energien fra vind og sol til senere brug.

Derfor er udvikling af effektiv energilagring også afgørende, hvis vi skal nå i mål med klimaambitionerne. Internationalt er vi i disse år vidner til en intensiveret jagt efter effektive og robuste energilagring-løsninger.

En række forskellige løsninger og teknologier kan være med til at sikre en energiforsyning baseret på vedvarende energikilder: Det gælder særligt batterier, termisk lagring og PtX:

- Batterier er en vigtig del af ligningen. Der udvikles og investeres i dag meget i, hvordan batterier i højere grad kan blive et effektivt lager for vedvarende energi og være med til at sikre elnettets stabilitet. Det gælder både de såkaldte Li-ion- og LFP-batterier. Og det kan være nye typer batterier som f.eks. redox-flow-batterier og Na-S-batterier med højere energitæthed.
- Termisk lagring er en anden løsning blandt andet med lagring i smeltet salt, som den danske opstartsvirksomhed, Hyme, udvikler på. Man kan også lagre energi i damvarmelagere som bruges i fjernvarmen med sektorkobling til elnettet via store varmepumper. Den type lagre kører allerede flere steder i Danmark i dag og er under udvidelse.
- PtX og brint er en anden løsning. Klimarådet peger bl.a. på, at det kan give "regulerbar kapacitet" i elnettet med "gasturbiner, der kan producere strøm af blandt andet brint eller biogas". Ifølge Klimarådet vil turbinerne kunne træde til i de få timer om året, hvor der er meget lav produktion fra solceller og vindmøller.

FIGUR 37. UDVIKLINGEN I DET EUROPÆISKE ELFORBRUG, TWH.



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

vælger, og de kan være med til at give Danmark større elforsyningsikkerhed. Vi kan balancere udsving på tværs af landegrænserne, og vi kan også eksportere store mængder af overskydende vindenergi til Tyskland og andre EU-lande, og dermed hjælpe dem hurtigere fri af de fossile brændsler. Men det er omvendt bekymrende, hvis f.eks. nabolande som Sverige og Norge, der har en del billig strøm, begynder at stoppe etableringen af flere transmissionsledninger, og den slags udfordringer skal adresseres politisk.

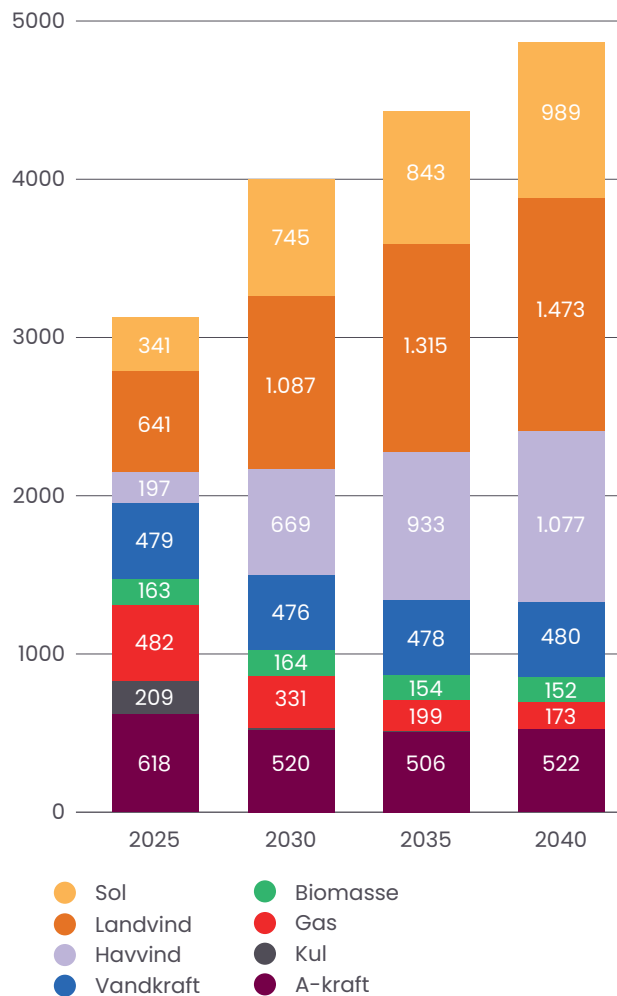
Balmorel-modellen søger at optimere det samlede europæiske elsystem under hensyntagen til teknologi, kapacitet, omkostninger, og hvordan man forventer den europæiske handel med el og brint på tværs af landegrænser vil udvikle sig. Der er derfor opstillet et scenarie for det europæiske elsystem, som danner baggrund for den nærmere analyse af de danske forhold.

Der er lavet en fremskrivning af elforbruget i Europa, der 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, hvor det antages, at det europæiske elsystem når ned i nettonul emissioner i 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.

I EU forventes en stigende efterspørgsel efter el, hvor ikke mindst PtX-brint produktionen trækker en stor del af væksten. Det klassiske elforbrug er derimod ret stabilt. Se figur 37.

Den europæiske elproduktion udbygges gradvist – bl.a. drevet af højere CO₂-priser, der hjælper med at fortrænge flere af de fossile brændsler. I 2040 ventes det, at vind og sol står bag mere end 70% af den samlede elproduktion. Der vil også være lidt over 10 pct. atomkraft i det europæiske elnet, da en række EU-lande ventes at holde fast i denne energikilde, selv om de samlede omkostninger til a-kraft på det tidspunkt ventes at ligge væsentlig over sol- og vind. Der vil også være beskedne mængder biomasse og grøn ledningsgas, samt vandkraft. Se figur 38.

FIGUR 38. SAMMENSÆTNINGEN AF EL I DET EUROPÆISKE ENERGISYSTEM, TWH.



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

ELEKTRIFICÉR SÅ MEGET SÅ MULIGT HURTIGT

En central del af transformationsscenariet bygger på hurtig elektrificering af alle sektorer. I vejtransporten er denne omstilling ved at komme op i fart, og derfor forventes det, at alle køretøjer vil være elektriske i 2040. Gennem ekstra høje afgifter og andre tiltag kan man med fordel udfase nysalg af benzin- og dieslbiler allerede fra 2025. Flertallet af borgerne er allerede klar til at omfavne elbilrevolutionen, og hen over sommeren 2024 har husholdningerne købt langt flere elbiler end fossilbiler. Men der bør snart sættes en slutdato for salget af nye fossilbiler - da

biler typisk kører 14-15 år på vejene – for ellers er det ikke muligt at gøre Danmarks energiforbrug fossilfrit i 2040. Det er i scenariet antaget, at trafikarbejdet for personbiler stiger med 24 pct, med 12 pct. for varebiler og 5 pct. for lastbiler frem mod 2040, men elektrificeringen sikrer, at vejtransporten ikke har direkte emissioner i 2040. Se figur 39.

Der er en del indlejret energi i fremstillingen af bilerne, men disse udledninger sker i de bilproducerende lande i udlandet. En reduktion i antallet af biler i Danmark vil dog kunne sænke vores fodaftryk yderligere, men det kræver adfærdssændringer, hvor flere kører



sammen i bilen, eller flere skifter til lettere transportformer. Dette er ikke medregnet i analysen, men det forudsættes, at man kan nedbringe det ressourcemæssige aftryk betydeligt gennem cirkulær økonomi og en langt højere genanvendelsesprocent for materialerne.

Hvis det fossile energiforbrug i Danmark skal udfases, skal der mere fart i elektrificeringen af transportsektoren. Sektoren har traditionelt slugt store mængder importeret olie. Flere elbiler drevet af grøn strøm vil bidrage til at sænke udledningerne markant trods en tilvækst i trafikarbejdet. Der vil også være positive sideeffekter med et stort fald i luftforureningen, som udløser lavere sundhedsudgifter, samt mindre larm i det offentlige rum. Beregningerne viser, at en hurtig elektrificering af vejtransporten sikrer store besparelser. Gevinsten stiger i 2040 til 7,1 mia. kr. årligt i forhold til reference-scenariet. Dette er endda uden at medregne, hvordan lavere partikelforurening sparer penge i sundhedsvæsenet.

I varmesektoren vil alle individuelle olie-, gas- og biomassefyr være udfaset i 2040, så husholdningerne kun har el- og fjernvarmebaseret opvarmning. Se *tekstboks*.

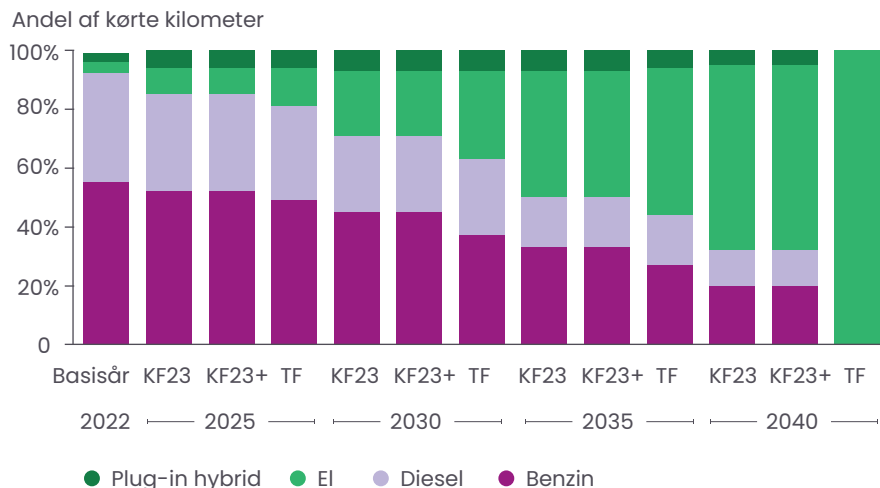
Fjernvarmen bliver udbygget, og samtidig slår elektrificeringen igennem. I 2040 vil omkring tofemtedel af rumvarmebehovet i husholdningerne blive dækket af varmepumper, og herunder også af geotermi. Se *figur 40*.

Varmepumper er langt mere energieffektive end traditionelle opvarmningsmetoder, og udfasningen af biomasse, bidrager til at sænke CO₂-udledningen betydeligt og til at reducere energidgifterne. Samlet set får husholdningerne en positiv gevinst på ca. 900 mio. kr. i 2040, som skyldes besparelser, fordi fjernvarmen erstatter biomasse og naturgas med varmepumper. Se *figur 41*.

I serviceerhvervene og i det offentlige er der ekstra omkostninger, fordi scenariet har antaget, at en større andel af disse virksomheder tilsluttes fjernvarmen, end det egentlig er omkostningseffektivt. Se *figur 42*.

Man kan dog spare ekstra 920 mio. kr. i 2040, så serviceerhvervene kan gennemføre en dekarbonisering uden større omkostninger end i referencescenariet.

FIGUR 39. ANTAL KØRTE KILOMETER



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

Det kræver dog, at flere områder tilsluttes varmepumper i områder, hvor der ikke i forvejen er fjernvarme.

Industrien vil også se betydelige ændringer i T2040-scenariet, hvor det endelige energiforbrug kan halveres fra 2022 til 2040 takket være elektrificering. Henholdsvis 100% af lavtemperaturen, 90% af middeltemperaturen og 65% af højtemperaturen vil blive drevet med grøn strøm.

Det er muligt at komme længere. Internationale studier har vist, at det i løbet af få år er muligt at elektrificere måske op til 99 pct. af industrien i Europa⁸. Og en analyse for Energistyrelsen viser, at op til 92 pct. af industrien i Danmark kan elektrificeres⁹. Estimaterne i T2040-scenariet er derfor relativt konservative, så industrien kan høste ekstra gevinster, hvis det lykkes at komme videre.

Anbefalingen er, at Danmark bør stræbe efter at blive et af de førende EU-lande i kapløbet om at elektrificere industrien. Der kan opnås betydelige besparelser i driftsøkonomien, når fossile brændsler udskiftes med grøn strøm.

BEHOV FOR STØRRE RESSOURCEBEVIDSTHED

Skal vi bygge en fossilfri økonomi i Danmark, må det også omfatte byggeriet. T2040 lægger op til større ressourcebesparelser. Energirenovering af bygninger

UDFASNING AF OLIE- OG GASFYR

Vi er ikke i mål med at komme af med de fossile fyr i Danmark. Der er stadig over 380.000 private gasfyr i Danmark og omkring 60.000 olieforfyr. Det er en overskuelig opgave at udfase dem sammenlignet med de 90 mio. fossile fyr, der stadig er i brug i Europa. Der er politisk opbakning til, at der ikke skal bruges fossil gas til opvarmning fra 2035, da det i Klimaaftalen for grøn strøm og varme fra juni 2022 er den politiske ambition, at "der fra 2035 ikke længere skal være boliger i Danmark, der opvarmes af gasfyr". Aftalen slår fast, at en planlagt nedlukning eller konvertering af gasdistributionsnettet vil understøtte en hurtigere udfasning af gas til rumopvarmning.

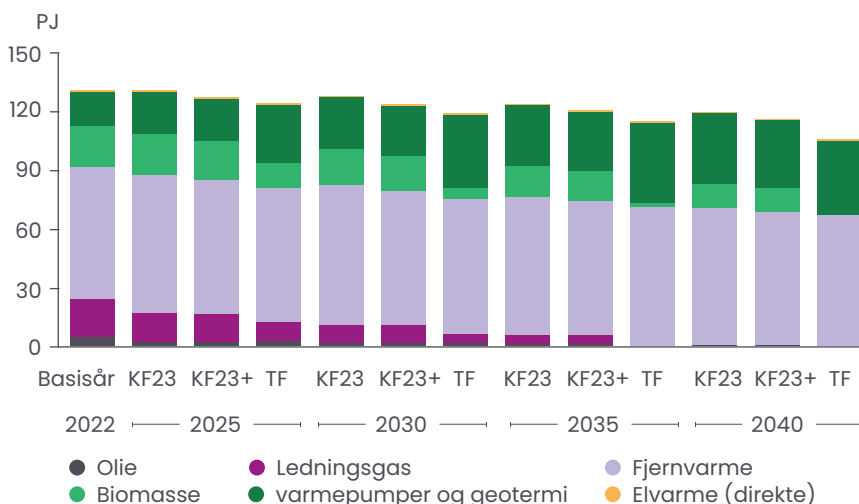
Der er dog siden energikrisen blevet installeret mere end 10.000 nye gasfyr i Danmark. Et nyt gasfyr har en levetid på omkring 20-25 år, og derfor bør der allersnarest i 2025 komme et forbud mod nyinstallation af fossile fyr. Vi bør fremrykke målet for udfasning af fossil gas til opvarmning, prioritere virkemidler til at sikre en hurtig og effektiv udfasning og sætte ambitiøse krav til udfasning af fossile fyr. Samtidig er det vigtigt at undgå et nyt lock-in til mere biomasseafbrænding, der fører til høje CO₂-udledninger og øget luftforurening. Og så skal den øgede mængde grønne gas – altså biogas – i gasnettet ikke give os skyklapper på. Vi skal på sigt helt af med gasfyrene.

og infrastruktur er et af de kritiske indsatsområder. Byggeri, anlæg og veje tegner sig for omkring 30 pct. af det samlede danske klimaaftryk og står derfor overfor en stejl reduktionskurve, hvis sektoren skal levere sin andel af de nødvendige klimareduktioner. Det er her vigtigt at mindske bygningers energiforbrug, som udgør godt to tredjedele af byggeriets samlede klimaaftryk. Ved at forbedre energieffektiviteten i bygninger kan nettoopvarmningsbehovet reduceres med 6% i 2040, trods stigende befolkningstal. Energirenoveringer kan omfatte bedre isolering, mere effektive vinduer, og optimerede varmesystemer. Denne reduktion i energibehovet mindsker ikke kun CO₂-udledningen, men bidrager også til økonomiske besparelser og forbedret komfort for beboerne.

Der er også behov for en større indsats, når det kommer til den sidste tredjedel af branchens udledninger, som er den indlejrede fossile energi – dvs. CO₂ – klimaaftrykket fra alle de ressourcer og materialer, som bruges i byggeriet. Beregninger foretaget af forskere og arkitekter bag *Reduction Roadmap 2.0* viser, at hvis Danmark med sit resterende karbonbudget skal holde sig indenfor *safe operating space* ift. de planetære grænser, må klimabelastningen fra nybyggeri ned fra et snit på 9,5 kg CO₂e/m²/år til 0,3 kg CO₂e/m²/år i 2030 – og det svarer til en reduktion på 97 %. Det stiller omvendt større krav til en transformation af den eksisterende bygningsmasse via renoveringer, og at der skabes nye forretningsmodeller for cirkulær økonomi.

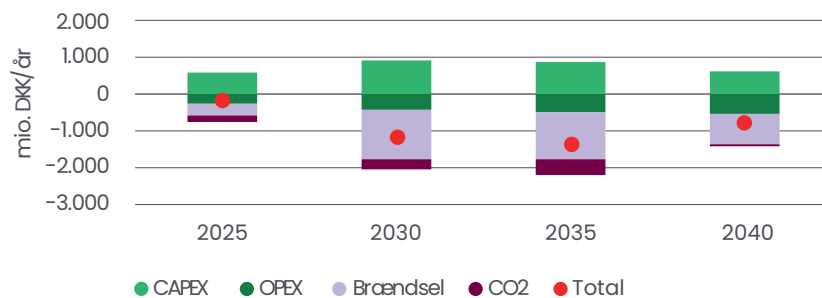
T2040-scenariet anbefaler en mere systematisk udsortering af affald, og det kan sikre en 57% reduktion af affald til forbrænding i 2040. Affaldsforbrænding er en betydelig kilde til drivhusgasudledninger. Ved at reducere mængden af affald, der brændes, kan CO₂e-udledningen mindskes væsentligt. Selvom økonomien i affaldssortering er udfordrende, er der klare klimafordele ved reduceret forbrænding og øget genbrug og genanvendelse. Emissioner fra det restaffald, der brændes af, vil iflg. scenariet blive fanget ind via CO₂-fangst, selv om disse anlæg er kostbare at etablere. Dette sker i 2030'erne, da investeringer i energieffektiviseringer og mere vedvarende energi har en større direkte klimaeffekt, og disse bør prioriteres først.

FIGUR 40. NETTOVARMEFORBRUG I HUSHOLDNINGER



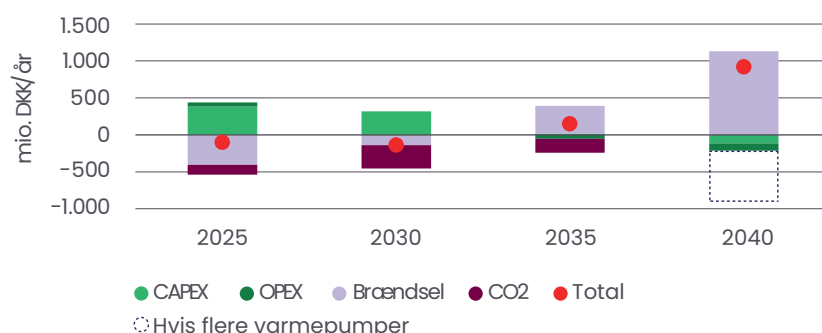
Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

FIGUR 41. NETTOVARMEFORBRUG I HUSHOLDNINGER, SAMLEDE ENERGIOMKOSTNINGER



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024. Omkostninger i T2040-scenariet sammenlignet med referencescenariet.

FIGUR 42. SERVICEERHVERV, SAMLEDE ENERGIOMKOSTNINGER



Kilde: EA Energianalyse, september 2024. Omkostninger i T2040-scenariet sammenlignet med referencescenariet.

Et generelt stop for produktion af fossile olie- og gasprodukter er også nødvendigt for at nå målet om netto-udledning. Alene udledningen forbundet med udvinding og raffinering af olie og gas står dag til at udlede hele 2,4 mio. ton CO₂. Med den nuværende politik vil den danske olie- og gasproduktion fortsætte til koncessionernes udløb i 2049 og med genåbningen af Tyrafeltet, forventes produktionen at stige og først toppe for olie i 2030, mens det for gas forventes at toppe i 2028.¹⁰ Skal Danmark tages seriøs som global frontløber i udfasningen af olie- og gasproduktion – bl.a. i ”Beyond Oil and Gas Alliance” (BOGA)- bør vi sigte mod en hurtig udfasning, da Danmarks karbonbudget er ved at slippe op, og de fossile brændsler bør blive i undergrunden. Dette flugter med, at det danske forbrug af gas allerede i 2030 forventes at blive dækket 100% af biogas. I transformationsscenarioet falder gasforbruget markant pga. øget elektrificering

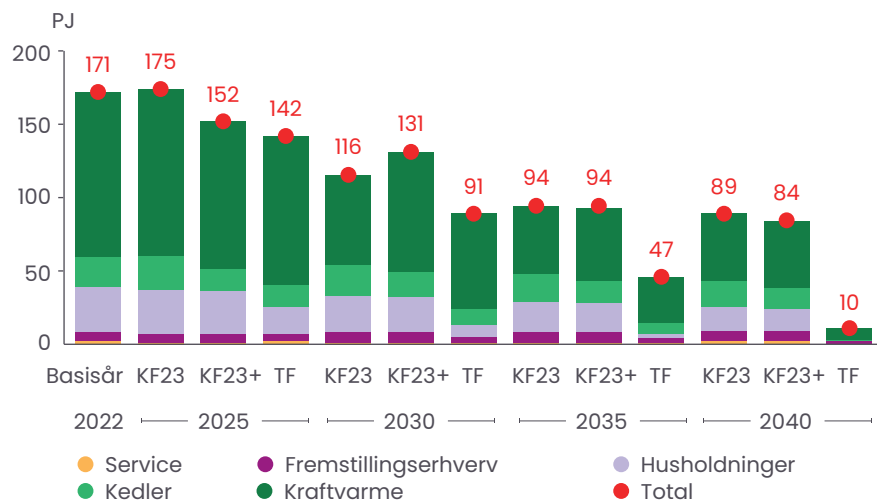
I Danmark har der i de seneste årtier været en voldsom stigning i fyringen med fast træbiomasse, der blev betragtet som en ”grøn” energikilde, der skulle erstatte kul i kraftværkerne. Det har ført til store straksudledninger af CO₂. I T2040-scenariet udfases afbrændingen af træbiomasse relativt hurtigt, mens det primære input til fjernvarmen overgår til varmepumper og elkedler. Frem for at brænde så meget træ af, bør det hellere nyttiggøres og indlejres i produkter med højere værdiskabelse, såsom møbler, nye trækonstruktioner i byggeriet, træemballage, bioøkonomiske produkter mv. I 2040 anvendes maksimalt 10,5 PJ biomasse, hvilket er resttræ – bl.a. fra savværker m.v., og det vurderes til at være indenfor de planetære grænser. Se figur 43.

Ved at lade biomassen forblive i skovene opnås en reduktionseffekt på 0,95 mio. ton CO₂ i 2040 gennem øget kulstoflagring, som registreres i LULUCF-regnskabet for arealanvendelse. Se figur 44.

LAND- OG SKOVBRUG KAN TAGE ET STØRRE KLIMAANSVAR

Landbruget er en af de største kilder til drivhusgasudledninger, især via metan og lattergas. I T2040-scenariet sænkes emissionerne gennem udtagning af

FIGUR 43. UDVIKLING I FORBRUGET AF FAST BIOMASSE, PJ



Kilde: EA Energianalyse, september 2024.

lavbundsgrunde, reduktion i dyrebestanden, og reduktion i dyrket areal. Disse tiltag er baseret på anbefalingerne fra rapporten ”Fra foder til føde 2”, der sigter mod at minimere landbrugets klimaaftryk og bringe fødevarerforbruget indenfor de planetære grænser.

Udtagningen af lavbundsjordene sænker udledningen af drivhusgasser, og en reduktion i dyrebestanden mindsker metan fra drøvtyggere. T2040 er en langt mere ambitiøs reduktionssti, end den der ligger i regeringens klimafremskrivning, hvor der ikke sker de store ændringer i forhold til den animalske produktion. Se figur 45.

I landbrugets seneste trepartsaftale mellem regeringen, arbejdsmarkedets parter og Danmarks Naturfredningsforening har man afsat betydelige midler til teknologiske tiltag i et håb om at nedbringe landbrugets udledninger, men den intensive landbrugsdrift fortsætter som hidtil. Det er dog usikkert, om disse virkemidler er tilstrækkelige til at nedbringe landbrugets klimabelastning. Det gælder bl.a. de 10 mia. kr., der frem mod 2045 tænkes afsat til pyrolyse. Aftaleparterne håber, at pyrolyse kan bidrage med helt op til 0,6 mio. ton CO₂ i 2030. Men i dag er der ikke noget pyrolyseanlæg i fuld skala i drift. Derudover viser Rådet for Grøn Omstil-

”Det er samfunds-økonomisk rentabelt at rejse ekstra 290.000 ha skov ud over de 27.000 ha, som allerede er medtaget i regeringens klimafremskrivning.”

lings beregninger, at der går lang tid, før pyrolyse har en klimaeffekt. For gylle, der har været igennem et biogasanlæg, går der mellem 8 og 40 år, for halm går der kun få år, mens der for træ går cirka 30 år før pyrolyse har en klimaeffekt.¹¹ Man kunne opnå langt større klimaeffekt ved at bruge pengene til strukturel omlægning af landbruget og at få elektrificeret landbrugets energiforbrug.

Trepartsaftalen rummer dog også flere positive tiltag, der kan gavne natur og vandmiljø. Bl.a. vil man afsætte 22 mia. kr. til at rejse 250.000 ha. ny skov frem mod 2045. Derudover er der afsat midler

til forskning og udvikling af bæredygtige skovbrugsteknikker, som skal optimere kulstoflagringen og samtidig sikre biodiversitet og skovens sundhed. Når trepartsaftalen skal gennemføres, kan det føre til langt flere skovrejsningsprojekter på tværs af landet.

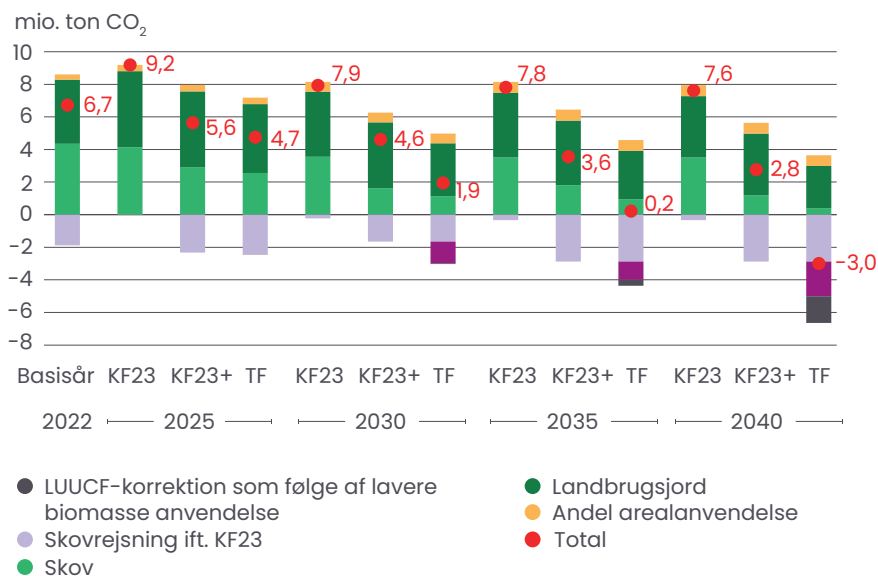
Aftalen vil give økonomiske incitamenter til private jordejere, så de tilskyndes til skovplantning og vedligeholdelse, hvilket skal gøre det mere attraktivt for dem at bidrage til den grønne omstilling. Men i treparten er CO₂-afgiften for landbruget er sat meget lavt, og da landmændene oveni får store bundfradrag, vil jordpriserne fortsat være høje, og det bliver dyrt at købe jord ud til øget skovdrift.

T2040 scenariet lægger også op til mere skovrejsning, men ambitionsniveauet er meget højere. Da klimaafgiften for landbruget forhøjes mere, vil jordpriserne være lavere, og det bliver billigere at tage jord ud til skovdrift. Det anbefales i scenariet, at der rejses 290.000 hektar ny skov inden 2040 - dvs. ud over de 27.000 ha, som klimafremskrivningen regner med - fordi det er en af de bedste og sikreste måder at sikre både biodiversitet og klima. Ud over at give en masse rekreative værdier og større naturrigdom, fungerer skovene som et kulstofdræn, hvor træerne absorberer CO₂ fra atmosfæren og lagrer det i biomassen og jorden.

I dag er der samlet set bundet 202 mio. ton CO₂ i skovens kulstoflager. Den øgede skovrejsning kan dog bidrage til at absorbere og lagre endnu mere CO₂, hvilket er essentielt for at opnå netto-nul-udledning. Det kan bringe Danmarks samlede skovareal op på 22 pct. af landets areal, og i 2040 vil de danske skove suge 2,1 mio. tons CO₂ ekstra ud af atmosfæren i forhold til, hvad der regnes med i regeringens klimafremskrivning. Rent samfundsøkonomisk vil det også være en billig måde at skaffe en positiv klimaeffekt. Rådet for Grøn Omstilling har regnet på tallene, og det er samfundsøkonomisk rentabelt at rejse ekstra 290.000 ha skov ud over de 27.000 ha, som allerede er medtaget i regeringens klimafremskrivning.

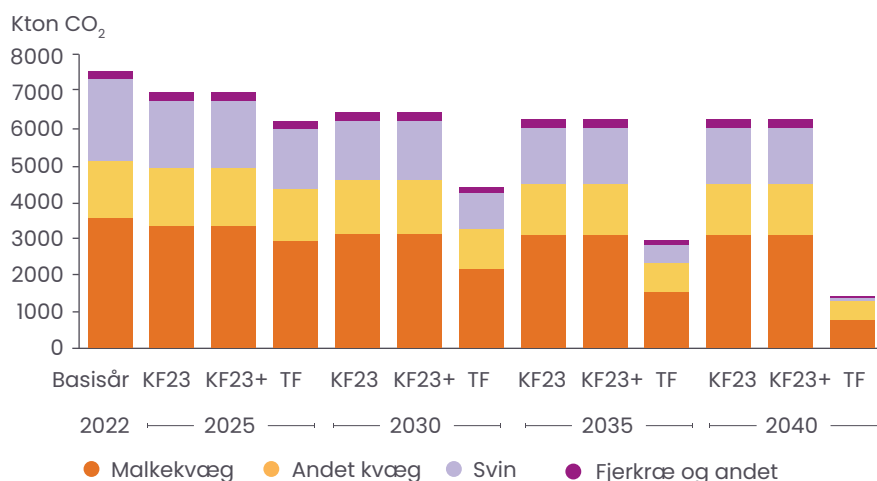
Det er lagt til grund, at man kan købe jord til en gennemsnitlig jordpris af 200.000 kr./ha, og hvad det koster at rejse skov af vanlig kvalitet. Samtidig er medregnet de

FIGUR 44. EMISSIONER FRA AREALANVENDELSE



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

FIGUR 45. EMISSIONER FRA HUSDYR



Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

positive sideeffekter af øget kulstoflagring i jorden, et lavere CO₂e-forbrug pga. mindre maskinel brug, formindskelse af udvaskning til det maritime miljø, øgede rekreative værdier samt mere biodiversitet.

Nutidsværdierne er beregnet til mellem 7,2-13,9 mia. kr., hvor det lave tal er ved statslig skovrejsning, og hvor det høje tal er en model, hvor halvdelen af skovrejsningen overlades til private. Her er der taget højde for, at staten giver de private lodsejere 90.000 kr. pr. ha. for at rejse

ny skov. De positive nutidsværdier betyder, at det er samfundsøkonomisk rentabelt at gennemføre skovrejsningen i begge scenarier. Hvis man ikke medregner de førnævnte positive sideeffekter ift. klima, biodiversitet og rekreative værdier, er CO₂-skyggeprisen 1431 kr./ton CO₂ ved 100 pct. statslig skovrejsning, og 986 kr./ton CO₂ ved en model, hvor halvdelen af skovrejsningen sker af private lodsejere. Men når de positive naturgevinster regnes med, er skyggeprisen endda negativ, dvs. samfundet får

mere værdi ud af det, end de penge der skal investeres i skovrejsningen. I den statslige model er det minus 169 kr./ton CO₂ og modellen med 50 pct. privat skovrejsning er prisen helt nede på minus 325 kr./ton CO₂.¹²

CO₂-FANGST BRINGES OGSÅ I SPIL

Siden 2020 er der indgået en række politiske aftaler om at fremme udviklingen af CCS (Carbon Capture and Storage) og CO₂-fangst og -lagring er gjort til et nøgleelement i Danmarks strategi om at blive CO₂-neutral. Der er afsat over 38 mia. kr. til, at CO₂-fangst og -lagring, og der er givet over 8 mia. kr. til CO₂-fangst på Ørsteds biomasseanlæg på Avedøre og ved Asnæs.

Rådet for Grøn Omstilling har tidligere kritiseret, at der gives så store støttebeløb til CO₂-fangst anlæg og -lagring, fordi det vil være mere effektivt at investere disse penge mere VE, energieffektiviseringer, varmepumper og elektrificering, som giver langt større og hurtigere klimagevinster.¹³ Især CO₂-fangst på kraftvarmeværker, der fyrer med fast træbiomasse, er problematisk, da den positive klimaeffekt først indtræffer efter ca. 20 år, når det biologiske lager i skovene er genopbygget. Desuden er CO₂-fangst anlæg meget energikrævende, og de fanger ikke de 95-99 pct. af emissionerne, som det ellers antages, men ofte langt mindre. Rådets anbefaling har været at vente til senere i 2030'erne med at investere i CO₂-fangst, når teknologien er mere moden.

Da der er et stort politisk flertal bag CCS-politikken, antages det i T2040-scenariet, at man politisk fortsat ønsker at fortsætte denne linje. I dette scenarie er der taget udgangspunkt i klimafremskrivningen for 2023, hvor man forventede, at CCS i 2030 kunne reducere CO₂-udledningerne med 3,2 mio. ton CO₂. Men i klimafremskrivningen for 2024 var dette tal nedsat til 2,9 mio. ton. Sagen er, at der er betydelige usikkerheder knyttet til teknologien. Både om anlægsinvesteringer, forrentningskrav, CO₂-kvoteprisen, den mulige kapacitet og omkostningerne i hele værdikæden.

På sigt regner T2040-scenariet med, at der kommer lidt mere CO₂-fangst. Det er dog vigtigt at dosere det rigtigt, da det

TABEL 46. INDFANGET CO₂ I 2040, HHV. FOSSILT OG BIOGENT, MIO. TON

Transformationsscenarioet 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	
Biogas opgradering	-	1,27	1,27
DAC		1,65	1,65
Total indfanget CO₂	0,93	4,72	5,67

Kilde: Ea Energianalyse, september 2024.

stadig er en meget dyr og energikrævende teknologi. I scenariet lægges der ikke op til langtidslagring af indfanget CO₂. Frem for CCS fokuseres mere på CCU (Carbon Capture Utilisation).

I transformations-scenariet kan der nemlig blive brug for noget CO₂-fangst for at nå helt ned i nettonul i 2040 og til at skaffe nok kulstof til den internationale transport. Noget fanges på Ørsteds allerede iværksatte biomasseanlæg, og desuden regnes med noget CO₂-fangst på de tilbageværende affaldskraftværker, der samlet sikrer knap 1,5 mio. ton. Det antages, at Aalborg Portland får brug for at indfange noget CO₂ fra de proces- og energirelaterede udledninger, hhv. 0,75 og 0,51 mio. ton. Yderligere bliver der ifm. produktion af 42,3 PJ opgraderet biogas indfanget 1,27 mio. ton CO₂.

Dette kan dog ikke dække efterspørgslen efter flydende brændsler i T2040-scenariet. Så der kan blive behov for CO₂-fangst af ekstra 1,65 mio. ton, som her forudsættes at stamme fra Direct-Air-Capture (DAC) i årene omkring 2040. Se tabel

DAC er en teknologi, der direkte fanger CO₂ fra atmosfæren og lagrer den permanent. Denne teknologi er stadig i sin spæde start og under udvikling. Det er usikkert, om den kan skaleres tilstrækkeligt, og der er betydelige økonomiske omkostninger ved DAC, som skal afvejes i forhold til anden teknologi. I 2030 venter eksperter, at DAC-priserne vil være op imod 2600-4000 kr./ton CO₂,¹⁴ men i

“Den årlige regning ved at skabe et fossilfrit dansk energiforbrug og accelerere den grønne omstilling af energisystemet er mindre end halvdelen af den årlige statsstøtte til landbruget”

analysen antages det, at disse er cirka 2000 kr./ton i 2040. Det antages desuden, at CO₂ fra CCS til den tid vil koste godt 1000 kr./ton. Det vil sige inklusive rensning, transport m.v.

De store ekstra udgifter til DAC er dog med til at fordyre T2040-scenariet. Hvis man Danmark ikke ønsker at tage DAC i anvendelse, mangler ca. 19 PJ CO₂-neutralt flybrændstof, hvis man skal dække væksten i luftfarten alene med e-fuels. Alternativt kan man tage skrappe adfærdsreguleringer i brug. Hvis energiforbruget til udenrigsluftfarten sænkes med omkring 27% sammenlignet med i dag, frem for at blive øget med ca. 61% som i referencescenariet, kan Danmark klare sig uden DAC.

Der findes måske også en teknologisk vej. Hvis der f.eks. kan sikres større direkte elektrificering af industrien og af den internationale luft- og søtransport – bl.a. via en hurtigere opskalering med større batterier – mindskes behovet for DAC og e-fuels. Først i 2030'erne vil der være større viden om, hvilke af disse teknologiske løsninger vil være omkost-

ningseffektive frem mod 2040, og hvad der er det rette mix. Derfor anbefales det, at man venter med at investere i DAC til midten af 2030'erne.

ØKONOMISK REALISTISK PLAN

Det er teknologisk og økonomisk realistisk at følge det ambitiøse roadmap, som T2040-scenariet opstiller. Selv med meget konservative antagelser om fremtidens CO₂-priser, lave forventninger til yderligere prisfald for sol- og vindenergi og meget høje estimater for trafikvæksten frem til 2040, er transformationsscenarioet ikke væsentlig dyrere end prisen på den aktuelle klima- og energipolitik.

Transformationsscenarioet er 5,4 mia. kr. dyrere i 2045 end referencen i regeringens klimafremskrivning, hvis man medregner effekten af de ekstra krav, der ligger i Fuel EU Maritime reguleringen. Beløbet er overkommeligt. Til sammenligning afsatte et bredt forlig i Folketinget – Infrastrukturplan 2035 – næsten 4 mia. kr. årligt til anlæg af nye motor- og landeveje hvert år fra 2022 til 2035.

Man kan også sige det på en anden måde: Den årlige regning ved at skabe et fossilfrit dansk energiforbrug og accelerere den grønne omstilling af energisystemet er mindre end halvdelen af den årlige statsstøtte til landbruget. Adgangen til tilstrækkelige mængder billig, ren, bæredygtig og fossilfri energi er dog afgørende for at bevare Danmarks konkurrenceevne i fremtiden, hvor landbruget har en svindende betydning. Man kan sikre langt større værdiskabelse og produktivitetsgvinster ved at investere i en grøn transformation af Danmarks energisystem end at bevare business as usual i et højintensivt og industrialiseret landbrug, som har vist sig at have meget store negative omkostninger for klima, natur, biodiversitet og havmiljø. I dag er der store mængder fossil energi indlejret i det industrielle landbrug, men erhvervet kan kun drives i sin nuværende form, fordi det modtager for over 11 mia. kr. i statsstøtte og ikke betaler de reelle omkostninger af de store klima- og naturskader.

Der er mange måder at finansiere omstillingsplanen på, men broderparten af investeringerne vil ligge i private husholdninger og private virksomheder, der udskifter fossile anlæg og maskiner og skal købe varmepumper, lave energirenoveringer, købe elbiler og elektrificere maskinparken. Samlet set vil både husholdninger, industri og serviceerhverv i løbet af få år tjene det ind igen via markant lavere driftsomkostninger. Gennem høje politiske krav og ambitiøse reguleringer kan man accelerere disse nødvendige initialinvesteringer.

Det vil her være klogt, hvis staten understøtter den grønne omstilling via en aktiv erhvervs politik og i første række fokuserer på grønne energiløsninger, der giver den største klimaeffekt. Det være sig sol- og vindenergi, energieffektiviseringer og elektrificering. Der bør også stilles skrappe grønne krav ved offentlige indkøb, så der skabes tidlig efterspørgsel i Danmark efter nye grønne serviceløsninger og teknologier, der kan skaleres på markedet.

Samtidig kan man gennem krav og ekstra støtte fremme udviklingen af en dansk produktion med e-fuels, der kan sikre en fuld dekarbonisering af den internationale transport. Pengene kan findes på flere måder. Man kunne f.eks. omprioritere

Vedvarende energi og biodiversitet kan gå hånd i hånd

Vi har i de senere år oplevet, at klager og bekymringer for miljø, biodiversitet og naturlandskaber har ført til store forsinkelser og endda skrinlægning af VE-projekter. Det gælder både Danmark og i andre europæiske lande. På EU-niveau tager godkendelsesprocessen af nye VE-projekter i gennemsnit 4-6 år – ofte netop på grund af bekymringer for projekternes lokale påvirkning af natur og dyreliv.

En lang række VE-developere er dog begyndt at integrere biodiversitetshensyn i deres projekter og har indledt et samarbejde med forskningsinstitutioner og miljøorganisationer. Tilsvarende begynder man fra myndighedernes side at genbesøge udbudskriterierne for VE-projekter i forhold til at gøre dem bredere og at inkludere andre hensyn og forhold end pris – f.eks. kriterier, som belønner biodiversitets- og naturhensyn.

Det er muligt at mindske negative sideeffekter og skabe positive gevinster, hvis man tænker biodiversitet og naturpåvirkning ind fra starten af, når der opstilles solcelleanlæg og vindmøller.

Studier fra USA har f.eks. vist, at insektpopulationer trives ved solceller og gør de omkringliggende marker mere produktive. Flere steder i Danmark har developere etableret beplantningsbælter omkring og imellem solcellepaneler eller lavet kunstige rev omkring havvindmøller. Den svenske virksomhed Vattenfall har fået tilladelse til at opføre havvind i et såkaldt Natura-2000 område (ved Svensk Kriegers Flak i Østersøen), hvor biodiversitetshensyn var afgørende. Godkendelsen er baseret på studier af fugle, havbund, fisk og havpattedyr med flere indsatser, der sigter mod at minimere påvirkningerne af lokale arter og sensitive habitater – f.eks. i forhold til specifik placering af turbiner, sæsonrestriktioner i forhold til fiskenes gydeperioder, forkortet installationstid og støjreducerende tiltag under havoverfladen i konstruktionsfasen.

Men der er også reelle dilemmaer. Kan Danmark f.eks. opstille flere vindmøller og samtidig leve op til EU's habitatsdirektiv, der forpligter os til at sikre og bevare truede og beskyttede dyrearter som bl.a. flagermus? Det er et af de spørgsmål, som myndighederne, vindmøllebranchen, naturfolk og miljøorganisationer slås med. I maj kom en ekspertrapport – bestilt af Miljøstyrelsen – der behandlede netop det spørgsmål. I rapporten, udarbejdet af biologer fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet, hed det sig bl.a., at vindmøller "bør ikke opstilles i eller omkring skov, inkl. produktionsskove og nåleplantager, og andre vigtige jagtområder for arten såsom søer og større vandløb, vådområder, fjorde og lign. Vindmøller i trækområder bør også undgås".¹⁵ Samtidig kom rapporten med en anbefaling om, at "eksisterende vindmøller på sådanne steder bør pålægges et driftsstop gennem sommeren og

efteråret fra solnedgang til solopgang på lune nætter med vindstyrker under 8-10 m/s. Vindmøller, inkl. havvindmøller, i trækområderne bør pålægges driftsstop i trækeperioderne om foråret og efteråret fra solnedgang til solopgang på nætter med vindstyrker under 8-10 m/s."

Rapporten ramte som en bombe ned i debatten. Følger myndighederne – og i eventuelle klagesager Planklagenævnet – denne anbefaling, kan det måske blive svært eller om ikke umuligt at finde ret mange områder i Danmark, hvor det vil være rentabelt at opstille nye vindmøller.

Der er ingen tvivl om, at et pattedyr som flagermus spiller en vigtig rolle i de naturlige økosystemer, fordi de er med til at sikre bestøvning af planter, og de æder millioner af insekter, der ellers er med til at sprede plantesygdomme. Problemet er, at de også er tiltrukket af vindmøllevingernes susen.

Hvert år dør der i gennemsnit 14 flagermus pr. vindmølle i Europa. Vi ved ikke med præcision, hvor mange der hvert år bliver fanget af danske vindmøller, for det kræver mere detaljerede studier. En undersøgelse i Pennsylvania i USA har vist, at hvis man først starter vindmøllerne ved hastigheder på over 5-6,5 meter i sekundet, vil 44-93 pct. færre flagermus miste livet. For de foretrækker at flyve og trække, når det ikke blæser for meget. Nogle flagermusarter reagerer også negativt på ultrasonisk lyd, men det er ikke alle. Ingen ved endnu, hvad der er den præcise løsning ift. de 17 arter af flagermus i Danmark. Måske findes der slet ikke en perfekt løsning, men kun afbødende foranstaltninger.

Hvis man f.eks. planter 320.000 hektar ny skov og beskytter 30 pct. af Danmarks natur som det fremgår af T2040-planen, vil det dog give flagermusene langt flere ynglesteder og bedre livsbetingelser. Det vil alt andet lige øge bestanden. Selv om der opstilles flere møller på land og til havs, og hvis der også laves afbødende foranstaltninger, er det tænkeligt, at det slet ikke er så stort problem med flagermusene, som det er fremstillet i den offentlige debat. Svaret kræver yderligere undersøgelser, men i forhold til klimakrisen – der er den største trussel mod bestanden for mange dyrearter og fugle – virker det som en acceptabel omkostning. I miljøvurderingerne bør man kigge på artsbestanden og dens samlede livsbetingelser og ikke på konsekvenserne ved den enkelte mølle. Men som DCE-rapporten viste, er det ikke bare vindmøller, som kan koste flagermus og fuglelivet. Det er også byggeri, vinduer, larmende motorveje og jernbaner gennem skove. Skal man endelig afveje de mange dilemmaer, kan man også spørge, om ikke det er bedre for klimaet, at der opstilles mange flere vindmøller, og at man så holder igen med nybyggeri, nye motorveje eller andre infrastrukturprojekter, der påvirker naturen og dens fugle og dyr?

nogle af de betydelige midler, der er afsat til ny infrastruktur og anvende pengene til at fremme en dansk produktion af grønne e-fuels eller fremme en hurtigere udbygning med sol- og vindenergi. Det er særligt relevant i de første opstartsår, hvor der endnu ikke er skabt en stabil efterspørgsel efter de nye e-fuels.

De ekstra udgifter til fremstilling af e-fuels til luftfarten bør i 2040 dækkes af forurenerne selv, dvs. i sidste instans af flypassagerne. De ekstra omkostninger på 9,39 mia. kr. til fremstilling af luftfartens e-fuels i 2040 kan f.eks. finansieres via stigende afgifter. Forudsættes en stigning i flytrafikken på 61 pct. frem mod 2040, og vælger politikerne at lægge afgiften på de internationale flypassagerer fra Danmark, skal afgiften på hver flybillet til udlandet være 470 kr. Dette må siges at være overkommeligt.

Staten har desuden betydelige frie grønne midler, der med fordel kan bruges mere aktivt. Alene i perioden fra 2022-2028 ventes staten at tjene 16,2 mia. kr på salg af CO₂-kvoter, og disse løbende indtægter bør reinvesteres fuldt ud i en grøn transformation af energisektoren. Her bør størstedelen af pengene allokere til løsninger med den størst mulige klimaeffekt. Rent samfundsøkonomisk vil der være store potentielle ekstragevinster ved at investere massivt i en hurtigere udfasning af de fossile brændsler og i at rejse meget mere skov i Danmark til gavn for biodiversitet, vandmiljø mv.

Transformationsscenarioet kan samlet set spare over 207 mio. tons CO₂ på rejsen frem mod at gøre Danmark helt fossilfrit i 2040, i forhold til hvis man følger regeringens nuværende kurs. Disse klimagevinster er indregnet i det samlede regnestykke for årene 2025, 2030, 2035 og 2040. Men det er også nyttigt at anskueliggøre den akkumulerede værdi for hele perioden frem til 2040,

og tager man f.eks. udgangspunkt i Finansministeriets forventning til CO₂-prisen i 2040 på 1289 kr/ton,¹⁶ svarer den akkumulerede værdi i den stejle reduktionssti til godt 267 mia. kr. Det er med til at illustrere, hvorfor politikerne seriøst bør overveje at skruer tempoet op for den grønne omstilling.

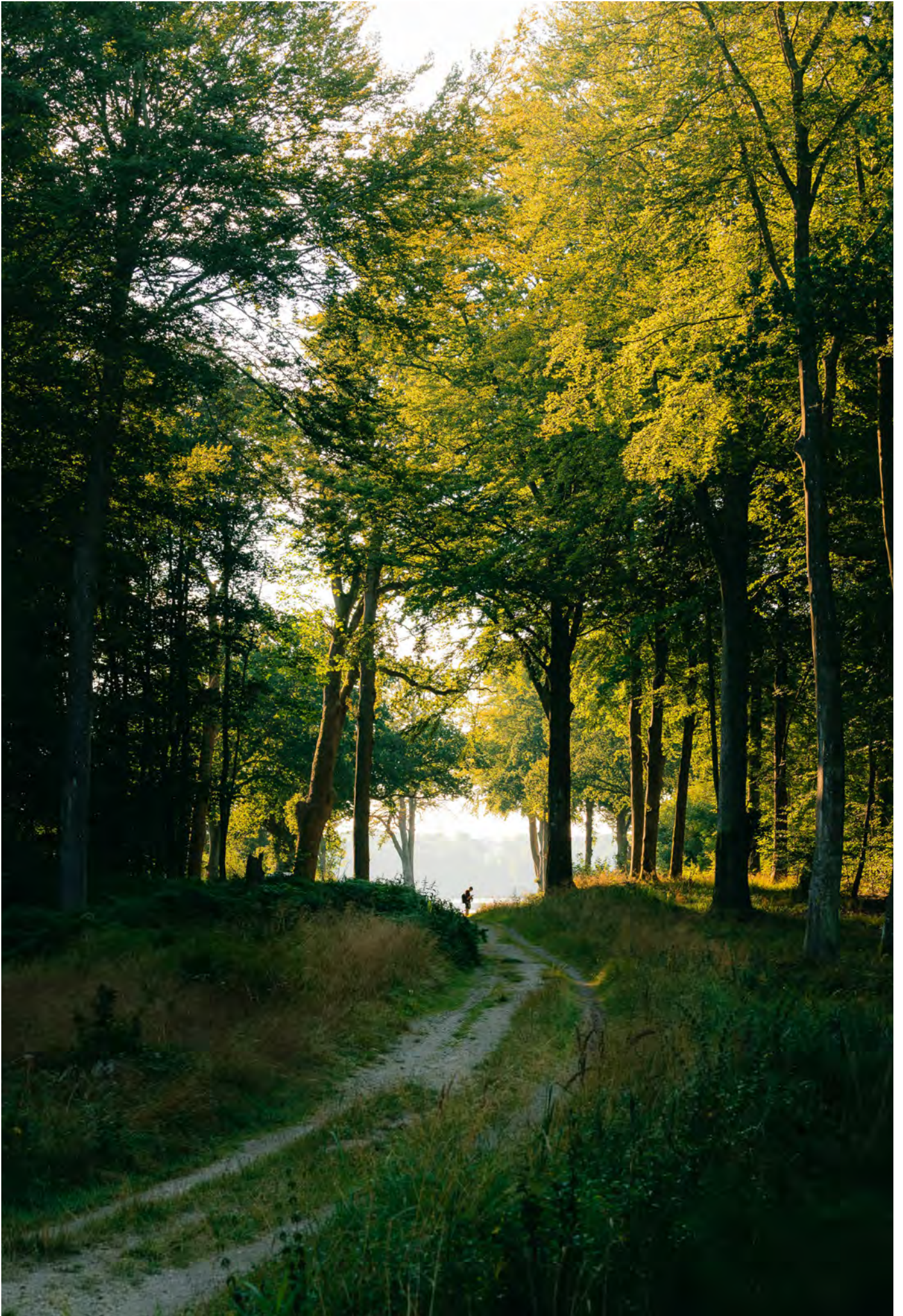
Klimarådet har tidligere dokumenteret, at de samfundsøkonomiske omkostninger er relativt beskedne, hvis man laver en samlet indsats til gavn for biodiversitet og vandmiljø, og den kan endda give større klimagevinster end en isoleret klimaindsats.

Beregninger foretaget af professor Peter Birch Sørensen og en gruppe økonomer ved Københavns Universitet har vist, at Danmarks økonomiske aktiviteter nu har så store negative sideeffekter, at der skæres mindst 10 pct. af bruttonationalproduktet som følge bl.a. luftforurening, biodiversitetstab, drivhusgasudledninger, forurening af drikkevand og af havet. Dette årlige tab vil klart blive begrænset, hvis Danmark udfaser alle fossile brændsler i sin økonomi, da det er den drivende årsag bag mange af disse negative miljøeksternaliteter. Naturen giver os samtidig en række gratis økosystemtjenester med ren luft, rent vand, en dyrkbar jord, råstoffer og et levedygtigt klima, som er værd at tage med.

Hvis man medregner de ekstra positive sidegevinster, som T2040-scenariet giver i form af øget biodiversitet, større rekreative værdier, lavere luftforurening og deraf følgende lavere sundhedskostninger, taler meget for, at dette roadmap samlet set vil blive billigere for samfundet. Samtidig vil det styrke grønne danske virksomheders business case, når de skal sælge grønne løsninger og teknologier til udlandet, hvis Danmark optræder som en grøn frontløberation, der i praksis viser, hvordan man skaber en fossilfri økonomi.

KILDER

1. Planetære grænser er et begreb der beskriver et "safe operating space" for menneskelige aktiviteter der påvirker biofysiske systemer på kloden bl.a. klima.
2. Rådet for Grøn Omstilling m.fl., Fra foder til føde II, En ny dansk landbrugsproduktion og fødevareforbrug indenfor planetens grænser, 2023. <https://rgo.dk/udgivelse/ra-foder-til-foede-ii-rapport/>
3. Der er regnet med en pris på 1289 kr/ton i 2040, der er angivet i Finansministeriets nøgletalskatalog fra november 2023.
4. Klimarådet, Danmarks fremtidige arealanvendelse Sådan tager vi hensyn til klima, vandmiljø og biodiversitet, april 2024.
5. Atrena et al., Quality of substrate and forest structure determine macrofungal richness along a gradient of management intensity in beech forests, 2020.
6. Beregninger af RGO foretaget på basis af tal angivet i Klimarådets rapport, Danmarks fremtidige arealanvendelse Sådan tager vi hensyn til klima, vandmiljø og biodiversitet, april 2024.
7. Fehrenbach, H. m.fl. The Carbon and Food Opportunity Costs of Biofuels in the EU27 plus the UK, IFEU, 2023.
8. Madeddu, S., The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat), Environmental Research Letters no.15, 25. November 2020.
9. Energistyrelsen, Kortlægnings- og potentialeanalyse – Sammenfattende rapport, 2022.
10. Energistyrelsen, Ressourceopgørelse og prognose, 2. september 2024.
11. Rådet for Grøn Omstilling, Pyrolyse og biokul En klimaløsning eller en miljøudfordring?, 28. Juni 2024.
12. Rådet for Grøn Omstilling, Samfundsøkonomisk beregning af skovrejsning af 290.000 hektar skov, september 2024.
13. Rådet for Grøn Omstilling, CO₂-fangst og -lagring. En klimamæssig kerneteknologi eller et risikabelt sidespor?, 14. september 2023.
14. Jones, N., As Carbon Air Capture Ramps Up, Major Hurdles Remain, Yale Environment 360, 20. Marts 2024.
15. Elmeros, M. m.fl., Opdatering af: Håndbog om dyrearter på Habitatdirektivets bilag iv, Del 2 – Odder og flagermus. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 603, Nationalt Center for Miljø og Energi, 2024.
16. Tal for CO₂-pris er hentet fra Finansministeriets nøgletalskatalog, november 2023.



Perspektivering

Et fremtidsbillede for Danmark anno 2040

Forestil dig et Danmark om femten år, hvor larmen fra de tunge diesellastbiler er væk, og alle danskere kører i elbil, tager elbussen eller bruger elcyklen på de cykellandeveje, der er anlagt for at bringe folk sikkert fra deres hjem til arbejdet. Det er et Danmark, hvor du alle steder i landskabet kan høre fuglenes sang og bierne summe. Sommerfugle og insekter trives igen i parcelhusets urtehave, i de tilplantede markskel og i skovene. Du får større naturoplevelser i de mange nye vidtstrakte skove, der er skudt op i Danmark, og flere af skovene er vild skov. 30 pct. af naturen er beskyttet, og biodiversiteten blomstrer igen.

Danmark står ikke længere som det land, der tilbage i begyndelsen af 2020'erne havde Europas ringeste biodiversitet, og hvor 60 pct. af arealet var opdyrket af landbruget, drikkevandet var truet og iltvind i de kystnære farvande førte til havdød. Dengang blev op imod 80 pct. af landbrugsjorden brugt til at dyrke foder til de omkring 200 mio. dyr på de store bedrifter, og anvendelsen af kunstgødning og pesticider havde taget overhånd. Men i her i 2040 spiser danskerne langt mere plantebaseret mad i en varieret kost, der følger kostpyramiden, men der er også i ny og næ noget kvalitetskød med god smag. Der er 70-80 pct. færre køer og grise, så de får mulighed for at komme på græs.

Dyrevelfærd taler man ikke længere om, for det er en naturlig ting på de enkelte bedrifter. En del landmænd er gået helt over til at lave kød og mælk i petriskåle, og de tager moderne bioteknologi og molekylær biologi i brug. De lægger beslag på meget mindre jord, de har fået tilskud til at rejse noget

ekstra skov, og de tjener oveni ekstra penge på de solceller og de vindmøller, de har opstillet på deres gamle produktionsjord.

Danmark har i dag ni gange så meget sol- og vindenergi, som man havde for tyve år siden, og al fossil energi er væk. Alle kommuner holdt i midten af 2020'erne borgermøder og i samarbejde med professionelle developere fik man i løbet af få år opstillet solcelleanlæg og vindmøller, som de lokale borgere i dag er stolte af og glæder sig over synet af. For hver eneste kWh, som disse vedvarende energianlæg har høstet fra vinden og fra solens stråler, er en del af overskuddet løbet tilbage til det lokale samfund, som er brugt til nye daginstitutioner, skoler og sportshaller.

Flere er flyttet ind i landsbyerne ude på landet, der ellers efter mange års industrialisering af landbruget og centralisering i Danmark var ved at dø ud. Folk glæder sig over at få billigere og lokalt produceret el og varme til deres huse, og der er skabt nye job i disse områder, for adgangen til billig energi viste sig i løbet af 2030'erne at være afgørende for, hvor virksomhederne lokaliserede sig. Der er også kommet mange nye job i de økologiske og regenerativ jordbrug, der er ikke længere sprøjter med pesticider. De gøder indimellem jorden med e-ammoniak fremstillet på danske power to X-fabrikker.

Alle danske fabrikker er elektrificeret, og det har sparet mange penge på energiregningen. Også aktionærerne glæder sig over, at indtjeningen er hævet, fordi der er langt færre maskinstop og reparationsudgifter i de nye elektriske anlæg. På

byggepladserne er larmen fra de tunge dieselmaskiner væk, og de har sparet op imod 50 pct. af deres energiregning ved at bruge elektriske kraner, gravemaskiner og lastbiler. Mange huse er ombygget og energirenoveret.

I byerne er store grønne parker skudt frem mange steder, hvor der tidligere var brede asfaltveje, og der plantet millioner af træer i de danske byer. Så det ikke kun er på landet, at man suger CO₂ ud af atmosfæren. Byerne er blevet behageligere at opholde sig i, selv om klimaforandringerne har gjort somrene varmere. På alle hustage er der solceller, og der er ladestandere ved alle ejendomme, så folk kan få opladet deres elbiler om natten. De kan også glæde sig over billig grøn strøm fra Danmarks mange nye høje landvindmøller og de store offshore parker, der blev bygget i slutningen af 2020'erne og i begyndelsen af 2030'erne.

Elnettet lider ikke længere af pludselige nedbrud, for man bruger kunstig intelligens og smarte målere til at optimere nettet, og priserne er fleksible minut for minut, så forbrugerne afholder sig fra at lade bilen eller at sætte vaskemaskinen i gang i perioder med spidsbelastning og høje priser. Forsynings sikkerheden og effekttilstrækkeligheden er blandt de bedste i Europa, for Danmark har investeret i nye varmelagre og opstillet store battericontainere rundt omkring i landet. Batterierne kan hurtigt sende ekstra strøm ind i nettet, hvis vinden ikke blæser, og solen ikke skinner, og så lades de op igen, når strømprisen nærmer sig nul.

Danmark har efterhånden fået et pænt overskud af vedvarende energi, men de marginale omkostninger ved at producere mere energi er meget lave, så det er blot en ekstra sikkerhed. Der er skabt tusindvis af nye arbejdspladser på de danske Power-to-X fabrikker, som udnytter den billige vedvarende energi til at fremstille e-fuels til fly og skibe. De hjælper samtidig med at rense det lokale spildevand og deres overskudsvarme sendes ind i fjernvarmen, så energien ikke går til spilde.

Der er så meget ekstra grøn strøm, at en del af den også sælges til vores nabolande, der så hjælper os med at sælge energi til os, når vinden lægger sig i flere dage ad gangen, og vejret er gråt. Danskerne har sparet et to cifret milliardbeløb, fordi man ikke længere importerer olie fra udlandet. Og historikerne skriver bøger om den gang, hvor man uden at tænke over det spildte op imod to tredjedel af den fossile energi, inden den nogensinde gjorde nogen nytte for virksomheder og husholdninger.

Storkøbenhavn og mange andre danske byer er fulgt i fodsporet af Aarhus og Holbæk og henter stabil geotermisk varme ud af undergrunden, så de helt har

“Nogle få år inden 2040 blev Danmark et klimapositivt samfund uden udledning af drivhusgasser, og det lykkedes samtidig at bringe Danmark indenfor et sikkert handlerum i forhold til de planetære grænser. Regeringen dekreterede, at der blev indført en ny national klimafridag for at fejre den dag, hvor Danmark nåede nettonulmålet.”

kunnet frigøre sig fra afbrænding af fast træbiomasse eller gas i kraftværkerne. Landets fjernvarmeværker er gået over til elkedler og har installeret industrielle varmepumper, der drives af grøn strøm fra de solcelleanlæg og vindmøller, som er opstillet i lokalområdet. Danmark er holdt op med hvert år at sejle over 3 mio. ton træ ind fra de baltiske lande, Rusland og Nordamerika for at brænde det af i kraftværkernes store ovne.

I midten af 2020'erne gik det op for regeringen, at afbrænding af fast træbiomasse hvert år udledte mio. af tons drivhusgasser til atmosfæren. Det endte med, at man traf en beslutning om at fremskynde

elektrificeringen af varmeforsyningen. Det var del af en stor elektrificeringspakke, hvor man i 10 år fjernede elafgiften og gav industrien ekstra incitamenter til at investere i elektriske maskiner, køretøjer og varmepumper. Samtidig blev alle de gamle fradrag og indirekte statsstøtte til fossile brændsler fjernet. Og man skruede op for CO₂-afgiften, så den inklusiv de europæiske kvotepriser nåede op over 1500 kr/ton CO₂ i 2030.

I løbet af få år lykkedes det for de danske virksomheder at elektrificere hele deres produktion, og de opnåede store driftsøkonomiske besparelser. Det var et ekstra plus, at de var i stand til at levere varer med et lavt CO₂-aftryk, som der var stigende efterspørgsel efter i udlandet.

Nogle få år inden 2040 blev Danmark et klimapositivt samfund uden udledning af drivhusgasser, og det lykkedes samtidig at bringe Danmark indenfor et sikkert handlerum i forhold til de planetære grænser. Regeringen dekreterede, at der blev indført en ny national klimafri dag for hvert år at fejre den dag, hvor Danmark nåede nettonulmålet. Det var aldrig sket uden en national kraftanstrengelse og et stærkt politisk lederskab. I anden halvdel af 2020'erne og i 2030'erne var der rejst over 320.000 hektar ny skov, som suger flere mio. tons CO₂ ud af atmosfæren. En del af dette skovareal var vokset frem af sig selv, fordi naturen havde fået lov til at brede sig i faste bræmmer på 25 meter udenfor de tilplantede arealer.

Mange af skovene er i dag bæredygtige og veldrevne produktionsskove, og flere steder er der gjort plads til høje 10 GW vindmøller, og skovene leverer træ til både møbelindustrien og byggeriet, så deres CO₂ indlejres i materialerne.

Landmændene er blevet dygtige til at lave karbon-farming, som også har fået ekstra støtte i EU's nye landbrugspolitik. Det nye europæiske kvotehandelssystem for landbruget, der blev indført i 2033, havde gjort det økonomisk attraktivt at nedsætte udledningen af CO₂ og metan- og lattergas i landbruget. Der er også sprunget helt nye bioindustrier op i Danmark, som er dygtige til at fange CO₂, og som tjener store penge på at eksportere disse bioløsninger til resten af verden. Bioindustrien er blevet et nyt erhvervsventyr på linje med vindmølle- og medicinaleventyret, der i flere generationer havde gjort danskerne rigere.

Delegationer fra mange lande i verden valfarter i dag til Danmark for at se, hvordan det lykkedes for danskerne i løbet af blot 15 år at fjerne alle fossile brændsler i et land, hvor to tredjedel af bruttoenergiforbruget i nationens økonomi ellers havde været fossile brændsler dengang i 2024. De besøgende gæster hører også om den særlige danske evne til

gennem et tæt samarbejde på tværs af politiske skel, forskellige erhverv og samfundsgrupper at rykke lynhurtigt og transformere et helt land. Flere af dem spørger nysgerrigt ind til, hvordan andelsbevægelsen, arbejderbevægelsen og de brede forlig i Folketinget har forandret landet i rekordtempo. I de senere år er også mange spirende energifællesskaber og termonet rundt omkring i landet blomstret op og har hentet næring i et tæt og tillidsvækkende samarbejde.

Transformationen var næppe gået så hurtigt, hvis ikke statsministeren havde gjort den grønne omstilling af Danmarks energiforbrug til en af sine hovedmissioner. Energipolitik blev til storpolitik i 2025, hvor Danmark også overtog EU's formandskab og gjorde den grønne transformation af energisystemet til sin store hoveddagsorden. Målet var ikke kun at skabe en ny Green Deal 2.0 gennem en stærk europæisk industripolitik, men også at gøre EU hurtigere uafhængig af fossil energi fra autoritære magter, der truede fællesskabets sikkerhed.

Samme år nedsatte den danske regering et grønt energiråd, hvor toppolitikere, repræsentanter fra erhvervslivet, fagforeninger og grønne organisationer fik til opgave at lægge en klar plan for, hvordan man kunne udfase de fossile brændsler i alle dele af økonomien. De fik også til opgave at komme med forslag til en ny bølge af energieffektiviseringer.

En ny økonomi-energiminister satte sig i spidsen for, at de økonomiske regnemodeller blev bygget om, så energi, ressourcer, miljøbalancen og borgernes velvære blev de afgørende målestokke for, hvor velstående Danmark er. Finansministeriet begyndte i 2026 at bruge en grøn reformmodel 2.0 til at styre efter. I 2030 fastsatte man en høj samfundsøkonomisk skyggepris på 2000 kr. pr. ton CO₂. Det viste sig nødvendigt for at nå det nye 100 pct. reduktionsmål i 2040 og nettonegative emissioner i 2045, der var vedtaget efter et bredt forlig i Folketinget. Gennem disse ambitiøse grønne reformer fik politikkerne banet vej for en større investeringsbølge, der satte ekstra tryk på den grønne omstilling i Danmark. Den store polarisering af samfundet, som havde vakt bekymring i begyndelsen af 2020'erne, er i dag overvundet, og ingen taler mere om Udkants-Danmark. Nu føler borgerne mere sig som en del af forkants-Danmark. En enorm virketrang og handlekraft har bredt sig i hele landet, og foreningslivet er blomstret op som aldrig før. Mange historikere er endda begyndt at drage sammenligninger med andelsbevægelsen, der forandrede Danmark i slutningen af 1800-tallet.

