

Klimarådet.

September 2024

Forskning og innovation målrettet klimaomstillingen

Et diskussionsoplæg til regeringens
strategiske arbejde med at fremme grøn
forskning og innovation

Indholdsfortegnelse

Forord	3
1. Klimarelateret forskning og innovation er afgørende for at begrænse klimaforandringerne	5
1.1. Globale behov for klimarelateret forskning og innovation	5
1.2. Danske behov for forskning og innovation i et langsigtet perspektiv	7
1.3. Regeringens eksisterende strategi for grøn forskning og innovation	10
2. Dansk vindmølleteknologi med stort globalt aftryk	12
3. Tre indikatorer til at informere prioriteringerne i den strategiske indsats	15
3.1. Indikatorernes muligheder og begrænsninger	16
3.2. Indikator 1: Offentlige investeringer i klimarelateret forskning, udvikling og demonstration	17
3.3. Indikator 2: Klimarelaterede patenter	24
3.4. Indikator 3: Klimarelateret vareeksport	29
4. Opsamling og nye spørgsmål	36
4.1. Danske forudsætninger for at bidrage med klimarelaterede løsninger	36
4.2. Væsentlige spørgsmål til udformningen af den strategiske indsats	39
5. Referencer	42

Forord

Verden har aldrig tidligere udledt flere drivhusgasser end i 2022, og udledningerne ser ud til at være forøget i 2023.¹ Det kræver både strukturelle og adfærdsmæssige forandringer af, hvad der produceres og forbruges, samt ny teknologi til at reducere udledningerne, så Parisaftalens temperaturmålsætning kan overholdes. Der er veludviklede teknologiske løsninger, som er i færd med at blive implementeret i mange lande. Blandt andet i form af stigende brug af vind- og solenergi og elbiler. Her er der særligt brug for viden om systemer og tiltag, der kan understøtte en hastig og vellykket udbredelse.

Der er imidlertid større udfordringer med at finde løsninger inden for tung industri, tung transport, fødevarersektoren, affaldssektoren samt behovet for negative udledninger. Det skyldes, at omstillingshastigheden har været for langsom. Klimarådets analyse *Danmarks klimamål i 2050* viste med scenarier, hvordan både teknologiske løsninger og strukturelle og adfærdsmæssige forandringer kan være afgørende for at kunne nå Danmarks langsigtede klimamål. Samtidig mangler der løsninger til at nedbringe det globale klimaaftryk fra Danmarks forbrug, som er halvanden gang så stort som vores territoriale udledninger. På disse mere vanskelige områder er der både behov for langsigtet udvikling af nye teknologier samt viden om, hvordan man opnår vellykkede strukturelle og adfærdsmæssige forandringer.

Dette diskussionsoplæg ser nærmere på tre indikatorer for, hvor godt Danmark har gjort det inden for udvikling og udbredelse af klimateknologi ved hjælp af internationale sammenligninger. Det kan give relevant information om Danmarks forudsætninger for fremtidige bidrag til danske og globale reduktioner gennem forskning og innovation. Indikatorerne belyser klimarelaterede offentlige investeringer i forskning, udvikling og demonstration (FUD), patenter og eksport. Indikatorerne kan bidrage med relevant viden for politiske beslutningstagere i de kommende år. I 2025 skal Folketinget fastlægge et klimamål for 2035, hvilket giver en anledning til at løfte det politiske fokus fra klimamålet i 2030 og se på de mere langsigtede udfordringer, hvor strategisk forskning og innovation bliver vigtige virkemidler. I den anledning vil det give mening at genbesøge den grønne forsknings- og innovationsstrategi fra 2020 og evaluere indsatserne og prioriteringerne.

Til samme formål udkommer Regeringens *ekspertgruppe om forskningens betydning for den grønne omstilling* i år med sin analyseramme til at understøtte strategiske prioriteringer på området. Analyserammen vil kunne bruges til arbejdet med at evaluere og prioritere indsatserne. Endelig har regeringen annonceret, at den vil udsende et politisk udspil i år med henblik på at styrke den strategiske forsknings- og innovationsindsats for at fremme grønne løsninger. Udspillet kan med fordel igangsætte et arbejde med at forberede de kommende strategiske beslutninger.

De tre indikatorer i dette notat kan bidrage til at styrke vidensgrundlaget, der understøtter de kommende strategiske beslutninger. De kan imidlertid ikke stå alene, da der er mange andre relevante informationer, som er nødvendige for at kunne træffe beslutninger på et velinformeret grundlag. Blandt andet er datamaterialet mest velegnet til at belyse teknologiudvikling, mens der er også behov for indsats, der kan fremme adfærdsmæssige forandringer og vellykket udvikling af vores energisystem.

Budskaber om forskning og innovation målrettet klimaomstillingen

Forskning og innovation har en væsentlig rolle i omstillingen

Forskning og innovation målrettet klimaomstillingen er væsentligt, både for at Danmark kan nå sit klimamål i 2050, og for at verden som helhed kan overholde Parisaftalen. Danmark er et lille land, men har med udvikling af vindmølleteknologi vist, at små lande også kan bidrage betydeligt til den globale indsats ved at frembringe og udbrede klimarelaterede teknologier og løsninger.

Danmarks strategiske forskning og innovation er vigtig for at omsætte idéer til positive klimaeffekter

Både grundforskningen og den strategiske forsknings- og innovationsindsats er vigtige i bestræbelserne på at opnå globale klimaeffekter på relativt kort tid. Det vil i det kommende år være relevant at evaluere og overveje den strategiske indsats, når der skal fastlægges et klimamål for 2035, og når regeringens ekspertgruppe har bidraget med en analyseramme til at understøtte strategiske prioriteringer på området.

Mere data kan styrke beslutningsgrundlaget for den strategiske indsats

Klimarådet har tidligere vurderet, at der med fordel kan anvendes mere data til at monitorere, evaluere og prioritere indsatser inden for forsknings- og innovationspolitikken. Derfor fremlægger og analyserer notatet tre indikatorer, der fokuserer på forskellige modenhedsniveauer af løsninger, som er relevante for at nå Danmarks klimamål i 2050, og som kan bidrage til globale reduktioner:

- Offentlige investeringer i klimarelateret forskning, udvikling og demonstration (FUD)
- Klimarelaterede patenter
- Klimarelateret eksport

Kan Danmark skabe nye klimafremskridt med samme effekt som vindenergiteknologi?

Vindenergiteknologi har i mange år udgjort kernen af Danmarks globale bidrag inden for forskning og innovation målrettet klimarelaterede teknologier. Danmark har løftet en betydelig del af den historiske forskning, udvikling og demonstration, og har i tiltagende grad opnået en stor specialisering inden for patenter og eksport af vindenergiteknologi. Der er nu adskillige andre udfordringer med klimaomstillingen, hvor der er behov for lignende succeshistorier, der fører til hurtig udvikling og udbredelse af klimavenlige løsninger.

Der er ikke tydelige tegn på en tilsvarende ny specialisering

Selv om Danmark har gode forudsætninger på en række områder, er der ikke klare tegn på, at Danmark vil få en ny specialisering, som kan få globale klimaeffekter på niveau med vindenergiteknologien. Power-to-X kan muligvis have de bedste forudsætninger, fordi staten i mange år har investeret markant i forskning, udvikling og demonstration, og der er udtaget mange patenter pr. indbygger. Mange andre lande satser dog også på området.

Det kræver ressourcer og prioriteringer for at kunne gøre en forskel på globalt plan

Skal et lille land som Danmark være førende inden for andre områder end vindenergiteknologi, er det værd at overveje, om den nuværende indsats sikrer nok 'kritisk masse' til at kunne gøre en forskel på globalt plan. Det omfatter fx tilstrækkelige investeringer i ressourcer til forskning, udvikling og demonstration, samarbejds-muligheder på tværs af universiteter, erhvervsliv og landegrænser, testfaciliteter samt efterspørgsel på nye løsninger.

Væsentlige spørgsmål til udformningen af den strategiske indsats

Når den strategiske indsats skal evalueres og muligvis ændres, bør regeringen overveje disse spørgsmål:

- Hvordan får forsknings- og innovationsindsatsen størst mulig effekt på danske og globale udledninger?
- Hvordan balanceres behovet for risikospredning og tilstrækkelig koncentration af ressourcer i indsatserne?
- Hvordan fremmer man bedst adfærdsændringer og systemintegration?
- Hvordan kan indsatser for at udvikle og udbrede klimarelaterede løsninger bedst kombineres?
- Hvordan sikres den nødvendige læring af forsknings- og innovationspolitikken?

1. Klimarelateret forskning og innovation er afgørende for at begrænse klimaforandringerne

I dette hovedafsnit belyses de globale og danske behov for klimarelateret forskning og innovation, samt hvordan den hidtidige strategiske indsats i Danmark har forsøgt at frembringe nye løsninger til klimaomstillingen. De globale behov for forskning og innovation undersøges med afsæt i det internationale energiagenturs (IEA) scenarie for at opnå nettonuludledninger i 2050, mens de danske behov for forskning og innovation identificeres ved hjælp af Klimarådets analyse *Danmarks Klimamål i 2050*.

1.1. Globale behov for klimarelateret forskning og innovation

Der er fortsat store udfordringer med at nedbringe de globale drivhusgasudledninger

CO₂-udledningerne var i 2023 tilbage på det hidtidigt højeste niveau fra 2019 (40,9 Gt CO₂).² Hertil kommer andre drivhusgasudledninger fra fødevarereproduktionen og metanudslip, som har været støt stigende³. Selv om der løbende er blevet udviklet en række teknologiske løsninger, som har bidraget til at begrænse udledningen af drivhusgasser, har det altså endnu ikke ført til en faldende tendens for de samlede udledninger.

Rapporten *State of Climate Action 2023*, udgivet i samarbejde af blandt andet FN, Climate Action Tracker og World Resources Institute, ser på 42 indikatorer for den globale klimaomstilling. Rapporten konkluderer, at kun én indikator ud af de 42 indikatorer tyder på, at verden er på vej mod et 1,5-gradsscenario, hvilket er udbredelsen af elbiler.

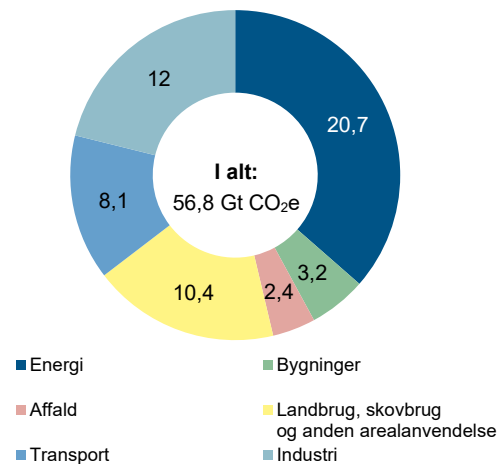
Næsten halvdelen af udledningerne sker inden for sektorer med få modne teknologier

Der er flest tilgængelige løsninger inden for vejtransport og energiproduktion, blandt andet pga. udbredelsen af vedvarende energikilder og elbiler. Men næsten halvdelen af verdens årlige udledninger finder sted inden for tung industri, tung transport, affald, og landbrug, skovbrug og anden arealanvendelse, hvor der er færre lovende teknologiske løsninger på kort sigt. Figur 1.1 viser den overordnede fordeling af drivhusgasudledninger på sektorer i 2021, hvor de ovennævnte udfordrende områder enten udgør hoved- eller underkategorier.

Det Internationale Energiagentur, IEA, har udviklet et scenarie for, hvordan der kan opnås nettonuludledninger af CO₂ fra energirelaterede og industrielle aktiviteter i 2050. Som med alle scenarieanalyser er resultaterne ikke præcise billeder af hvordan fremtiden vil blive, men kan bruges som inspiration til at redegøre for, hvad det vil kræve at leve op til Parisaftalens ambitionsniveau. Nettonulscenariet er beregnet til at designe en global energi- og industrisektor, som med 50% sandsynlighed er kompatibel med at overholde Parisaftalens ambition om maksimalt 1,5-graders temperaturstigning.

Der skal derfor føjes tiltag til scenariet, der sikrer reduktion af drivhusgasser inden for landbrug, skovbrug og anden arealanvendelse. IEA peger på behovet for at bremse skovrydning og i stedet plante nye skove, men de giver kun få indikationer af, hvordan reduktion af de landbrugsrelaterede udledninger kan understøtte temperaturmålsætningen. Tekniske løsninger kan bidrage, men der vil formentlig blive behov for at spise mindre kød og kompensere for restudledninger ved hjælp af skovrejsning.

Figur 1.1 Globale CO₂e-udledninger fordelt på sektorer i 2021 (GtCO₂e)



Kilde: State of Climate Action 2023 på baggrund af EU EDGAR

Vedvarende energi og elektrificering bliver centralt, men mange løsninger skal udvikles og integreres

Nettonulscenariet indikerer, at omstillingen vil kræve en integration af mange forskelligartede løsninger. Figur 1.2 viser CO₂-reduktionerne i nettonulscenariet fordelt på teknologier og adfærdsændringer samt fordelt på fire modenhedsniveauer for de teknologiske løsninger. Næsten halvdelen af reduktionerne opnås ved hjælp af etablering af vind- og solenergi samt øget elektrificering. En fjerdedel af reduktionerne findes gennem grøn brintproduktion, andre brændsler (blandt andet baseret på brint), bioenergi og kulstoffangst samt anvendelse og lagring (CCUS). Den resterende fjerdedel opnås gennem øget energieffektivitet og adfærdsændringer.

Teknologiske løsninger kan ikke stå alene

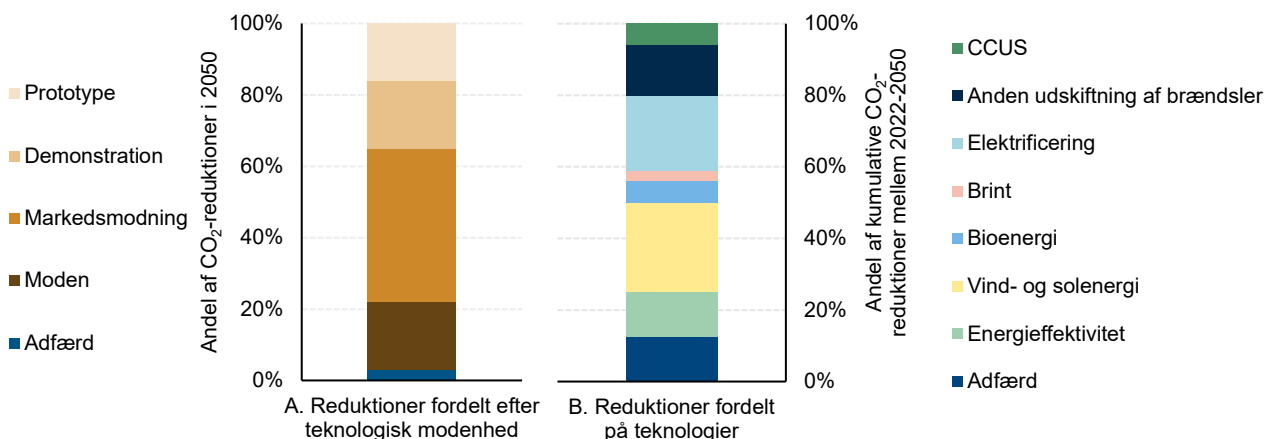
Både teknologiske løsninger og adfærdsændringer er vigtige klimaløsninger. Adfærdsændringer kan bidrage i direkte forstand ved at skabe reduktioner gennem mere klimavenlig forbrugsadfærd, som ændrer på hvad der produceres af varer og services i økonomien. Men også i en mere indirekte forstand ved at muliggøre de teknologiske omstillingselementer, som ofte kræver tilvænning til nye måder at producere på og forbruge de samme typer af varer og services på. Fx vil kunstigt kød og mejeriprodukter ikke nødvendigvis blive købt og spist, hvis der ikke er en social accept af produkterne.

En stor del af reduktionerne fra energi og industri kan komme fra umodne teknologier

Cirka 35 pct. af reduktionerne i scenariet stammer fra teknologier, der kun eksisterer enten i form af prototyper eller demonstrationsanlæg. IEA fremhæver, at der særligt er behov for forskning og innovation inden for tung industri og tung transport. Boks 2.1 viser eksempler på teknologier på de tre modenhedsniveauer.

Lidt under halvdelen af reduktionerne i IEA's scenarie sker ved at implementere teknologier, som er ved at blive modne til større og hurtigere udbredelse i samfundet. I denne markedsmodningsfase er der fortsat behov for yderligere forbedringer og omkostningsreduktioner eller nye understøttende systemer, herunder infrastruktur, for at fremme udbredelsen. Cirka 20 pct. af reduktionerne sker ved hjælp af teknologier, som er fuldt modne. Det vil sige, at de udbredes stabilt og forudsigeligt i markedet uden behov for yderligere forbedringer eller systemintegration.

Figur 1.2: CO₂-reduktioner fordelt på teknologier og deres teknologiske modenhed i IEA's nettonulscenarie



Kilde: Det Internationale Energiagentur (IEA) nettonulscenarie⁴

Anm. 1: Se definitioner af de fire teknologiske modenhedsniveauer i boks 2.1.

Anm. 2: Der er forskel på andelen af reduktioner, som tilskrives adfærdsændringer i de to opgørelser. Dette skyldes, at figur 1.1B viser bruttoreduktionerne, inklusive effekten af højere udledninger forårsaget af højere vækst, på kumulativ basis frem mod 2050, mens figur 1.1A viser nettoreduktionerne i 2050 sammenlignet med udledningerne i 2022. Adfærdsændringer har altså en vigtig rolle i scenariet i forhold til at modvirke udledningerne forårsaget af øget økonomisk aktivitet.

Anm. 3: Reduktionernes andele er tilnærmet ved aflæsning af IEA's grafer.

Boks 1.1 Eksempler på umodne teknologier i IEA's nettonulscenarie

IEA anvender en skala over teknologiske modenhedsniveauer (TRL: *technology readiness levels*), som går fra 1 til 11. Kategorien 11 betegner modne teknologier, som de udbredes stabilt i markedet, uden behov for yderligere forbedringer eller systemintegration. I nettonulscenariet anvender IEA tre kategorier for umodne teknologier, som hver spænder over flere TRL-niveauer. Scenariet indeholder derudover også modne teknologier. Herunder følger eksempler på teknologier inden for disse tre områder, der fortsat kræver forskning og innovation:

Markedsmodning

TRL: 9-10

Fortsat behov for systemintegration eller produktforbedringer.

- Vindenergi
- Solenergi
- Eldrevne lastbiler
- Smart grids
- Pyrolyse og biokul
- Eldrevne skibe
- Store varmepumper
- Elektrolysatorer (PEM, ALK)

Demonstration

TRL: 7-8

Teknologien fungerer i den relevante kontekst, enten præ-kommercielt eller ved første kommercielle ibrugtagning.

- Fangst og lagring af CO₂ (CCS) på procesudledninger fra cement
- Kulstoffangst fra luften (DAC, fast form)
- *Sodium-ion-* og *solid-state*-batterier
- Elektrificeret aluminiumsproduktion
- Alternative cementmaterialer
- Ammoniak og stål baseret på grøn brint
- Stålproduktion med grøn brint
- Flydende havvind
- Elektrolysatorer (SOEC)

Prototype

TRL: 4-6

En prototype virker enten under testforhold eller med den skala og kontekst, teknologien skal bruges i.

- Eldrevne fly
- Ammoniakskskibsmotorer
- Brintbaserede flybrændstoffer
- Elektrisk cementproduktion
- Elektrisk stålproduktion
- Kulstoffangst fra luften (DAC, flydende form)

Kilde: IEA's Energy Technology Perspectives og Net Zero Roadmap⁵

Danmark kan bidrage til den globale klimaomstilling gennem forskning og innovation

En af vejene til at være et foregangsland på klimaområdet er at udvikle og demonstrere attraktive løsninger, der også kan bruges i udlandet. Den klimarelaterede eksport kan bidrage til at udbrede disse teknologier. Klimarådet har dog konkluderet, at man skal være varsom med at beregne klimanytten af eksport, særligt af modne teknologier, hvor der er flere internationale producenter af lignende produkter. I Klimarådets analyse *Danmarks globale klimaindsats* blev det derfor konkluderet, at man bør have større fokus på selve forsknings- og innovationsområdet, som påvirker globalt på flere måder, end at understøtte eksporten. Det kan fx være gennem vidensspredning, samarbejde samt gennem udvikling og demonstration af nye teknologier, systemer og metoder til at understøtte adfærdsændringer. Disse potentielle globale bidrag vil blandt andet afhænge af, hvornår og hvordan Danmark håndterer sine egne langsigtede klimamål, som adresseres i det følgende afsnit.

1.2. Danske behov for forskning og innovation i et langsigtet perspektiv

IEA's nettonulscenarie belyser kun den globale omstilling af energi- og industrirelaterede udledninger. Klimarådet har derimod belyst veje til at nå Danmarks langsigtede klimamål for alle sektorer med analysen *Danmarks Klimamål i 2050*. Gennem fire hovedscenarier undersøges det, hvordan både teknologiske og strukturelle løsninger kan bidrage til at opnå 100 pct. og 110 pct. reduktion af udledningerne af drivhusgasser i Danmark sammenlignet med 1990. Disse to reduktionsmål afspejler klimamålene i henholdsvis klimaloven og det nuværende regeringsgrundlag.

Scenarierne kan give et pejlemærke for, på hvilke områder den klimarelaterede forskning og innovation kan understøtte Danmarks klimapolitik.

Klimarådets 2050-analyse fokuserer på danske udfordringer

I kontrast til IEA's scenarie kan Klimarådets analyse give et tydeligere billede af særlige danske udfordringer, og hvilke løsninger der kan bidrage til at håndtere udledninger i relation til landbrug, skovbrug og anden arealanvendelse. De centrale omstillingslementer i analysens scenarier, er skitseret i tabel 1.1. På baggrund af omstillingslementerne er der udledt kategorier, som kan bruges til at strukturere de følgende empiriske analyser, se boks 1.2.

Scenarierne i Klimarådets 2050-analyse begrænser også negative klimaeffekter på udlandet

I udviklingen af scenarierne er der indsat tre rammebetingelser, der begrænser mulige negative sideeffekter ved Danmarks omstilling. For det første tages der hånd om udledningerne fra Danmarks internationale transport, som reduceres til nettonul i 2050. For det andet, finder der ikke nettoimport af bioenergi til energiformål mv. sted, da det ville kunne løse Danmarks klimaomstilling ved at gøre omstillingen mere vanskelig i udlandet. Endelig afsættes der 30 pct. areal til biodiversitetsformål, svarende til EU's fælles strategiske målsætning, så andre lande ikke skal kompensere for at Danmark ligger under målet. Der er desuden opmærksomhed på mulige ressourcebidrag til udlandet i form af fødevarer, foder og energi, lækagerisiko og Danmarks muligheder for at være en inspirationskilde for andre lande.

Danmarks klimamål i 2050 kan opnås med kombinationer af strukturelle og teknologiske løsninger

Danmarks Klimamål i 2050 anvender to typer omstillinger til at nå de to langsigtede klimamål i tilsammen fire scenarier:

- Ny Hverdag (100 pct. og 110 pct.)
- Ny Teknologi (100 pct. og 110 pct.)

Ny Hverdag-scenarierne når klimamålene gennem strukturelle ændringer af, hvad der forbruges, blandt andet kost og flyrejser, og hvad der produceres, særligt i landbruget, hvor produktionen skifter til markant flere plantebaserede fødevarer. Risikoen ved denne tilgang er, at der kan komme til at mangle opbakning til omstillingen, hvis store reduktioner skal findes på kort tid. Denne udfordring kan forskningen bidrage til at mindske. Derudover vil der være behov for at udvikle plantebaserede fødevarer og teknologi, der permanent kan lagre det øgede biologiske optag af CO₂ i scenariet, særligt pyrolyse og BECCS (bioenergi med kulstoffangst og -lagring).

Ny Teknologi-scenarierne anvender derimod teknologiske løsninger til at fastholde produktions- og forbrugsmønstrene i samfundet ved at ændre på produktionsmetoderne. Der anvendes mere kulstoffangst og lagring, inkl. kulstoffangst fra luften (DAC), kunstige fødevarer, såsom præcisionsfermenteret mælk og kød produceret i laboratorier, mere elektrificering i industrien og mere brændstof uden kulstofindhold i den internationale transport

Et af teknologiscenariets omstillingslementer hvor både teknologiske fremskridt og adfærdsændringer bliver relevante er kostændringerne. Den animalske kost ændres delvist til kunstige fødevarer, såsom præcisionsfermenteret mælk og kød produceret i laboratorier, som forbrugerne vil skulle tage til sig for at det kan få den beregnede klimaeffekt.

Begge scenarier har en større fællesmængde bestående af kendte omstillingslementer og de fælles rammebetingelser. Dette betyder, at der vil være brug for energieffektivisering, stor udbredelse af vind- og solenergi og af elektrificeret vejtransport og boligopvarmning, uanset hvilken af de to veje man følger. Der indgår blandt andet også et stort antal anlæg til power-to-X-produktion og kulstoffangst samt produktion af grønne brændstoffer til den internationale transport.

Tabel 1.1 Centrale omstillingselementer i scenarierne i *Danmarks Klimamål i 2050*

	Energiproduktion	Energiforbrug	Arealer og fødevarer
Fælles grundlag for scenarierne:	Mange vindmøller og solceller	100 pct. fossilfri vejtransport (el) og opvarmning (el og biomasse)	Vådlægning af kulstofrige jorder
Kendte omstillingselementer og rammebetingelser	Mange power-to-X-anlæg	Energieffektivisering af bygningsmassen	Skovrejsning
	Øget brug af biogas	Kulstoffangst på en moderat andel af punktkilder	Landbrugsteknologi til konventionelt landbrug: Metanreducerende foder
Scenarie: Ny Hverdag 110		Grønne brændstoffer primært med kulstof til fly og skibe (biobrændstoffer og metanol)	
		Reduceret vej-, skibs- og flytransport og øget togtransport	
	Mere manuel udsortering af bioaffald	Mindre boligareal pr. person med reduceret cementproduktion til følge	Meget stor omlægning af animalsk produktion til plantebaserede alternativer
	Stor produktion af bio- og elektrobrændstoffer	Øget energieffektivisering af bygningsmassen	Mere areal til skov og energiafgrøder
		Kulstoffangst på en stor andel af punktkilder	Biokul
Scenarie: Ny Teknologi 110		Mellemstor andel af kulstoffrie brændstoffer til skibsfart (ammoniak, el og brint)	
	Stor produktion af bio- og elektrobrændstoffer (mere vægt på ammoniak)	Kulstoffangst på en stor andel af punktkilder	Moderat omlægning af animalsk produktion til kunstigt kød og mælk
	Større produktion af biogas	Kulstoffangst med DAC	Større anvendelse af landbrugsteknologi til konventionelt landbrug
	Mere teknisk udsortering af bioaffald	Stor andel af kulstoffrie brændstoffer til skibsfart (ammoniak, el og brint)	Biokul
		Mere elektrificering i industrien	

Kilde: Klimarådet⁶

2050-analysen viser, at der bliver behov for systemintegration, adfærdsændringer og teknologiudvikling

Mange af de fælles omstillingselementer i scenarierne vil kræve en omfattende systemintegration og adfærdsændringer, hvor den større og variable strømproduktion bliver koblet med mere fleksibelt forbrug og nye former for energilagring. I scenarierne tages det for givet, at energiproduktion og -forbrug er velforbundet på tværs af tid og rum. Men det vil kræve ny viden at få systemerne til at fungere i samspil på en omkostningseffektiv måde. På lignende vis forudsættes der også store adfærdsændringer med tilknytning til de teknologiske omstillingselementer, fx når vejtransporten i begge scenarier

skal overgå til elektriske biler og lastbiler, eller når befolkningen i Ny Teknologi begynder at spise kunstigt kød og drikke præcisionsfermenteret mælk.

Forskning og innovation kan belyses ved at se på de vigtige områder i 2050-analysen

Omstillingselementerne i tabel 2.1 kan bruges til at udlede overordnede kategorier og underkategorier for de teknologiske områder, hvor det bliver vigtigt at udvikle og udbrede nye klimarelaterede løsninger. Disse kategorier fremgår af tabel 2.2 og anvendes til at strukturere analyserne af datamaterialet i afsnit 3. De vigtige ovennævnte bidrag fra systemintegration og adfærdsændringer er vanskelige at belyse med datamaterialet og metoderne i dette notat. Derfor vedrører kategorierne primært teknologiudvikling, mens den 10. kategori om samfundsforandring og grundforskning blandt andet belyser disse to aspekter. Fire af kategorierne har betydeligt overlap med regeringens fire grønne forskningsmissioner, som dermed kan belyses af de tre indikatorer i afsnit 3.

Tabel 1.2 Forsknings- og innovationsrelaterede kategorier for omstillingselementer i Klimarådets 2050-analyse

Hovedkategorier	Underkategorier med større behov for anvendelse på kortere sigt	Underkategorier med større behov for anvendelse på længere sigt
1. Power-to-X	Elektrolyseapparater	Andet power-to-X (fx brændselsceller)
2. Fossilfri energi	Sol, vind, biogas	Andet (fx geotermi)
3. Bygninger	Byggematerialer, fjernvarme, smartgrids og udstyr	
4. Industri og produktionsmetoder	Industri og produktionsmetoder	
5. Elektrificering	Elnet, elektrisk opvarmning, el- og varmelagring	
6. Kulstoffangst og -lagring	Kulstoffangst (punktkilder), transport og lagring	Kulstoffangst fra luften (DAC) og andre metoder til negative udledninger
7. Grøn transport (foruden power-to-X)	Elektrificeret transport	Biobrændstoffer
8. Fødevarer og jordbrug	Konventionel landbrugsteknologi, plantebaserede fødevarer, pyrolyse	Kunstige fødevarer
9. Cirkulær økonomi	Cirkulær økonomi	
10. Samfundsforandring og grundforskning	Energisystemer, samfundsvidenskab og humaniora, information og kommunikation	Grundforskning i energi, klimatilpasning

Anm.: Sondringen mellem det kortere og længere sigt kan tænkes at finde sted i årene omkring år 2035. Løsninger med større behov for anvendelse på kortere sigt, vil typisk også være relevante i stort omfang på længere sigt. Løsninger med større behov for anvendelse på længere sigt er også relevante at udvikle, demonstrere og udbrede på kortere sigt, for at sikre at der udvikles brugbare løsninger som kan implementeres i stor skala. Der er også dele inden for underkategorierne, som kan siges at høre til forskellige tidshorisonter. Fx vil kulstoffangst på punktkilder være relevant at tage i brug på kortere sigt, mens kulstoffangst fra luften først kan forventes at komme i brug i større skala på længere sigt.

1.3. Regeringens eksisterende strategi for grøn forskning og innovation

Regeringen har præsenteret fire grønne forskningsmissioner

Regeringen igangsatte i 2020 en strategi for grøn forskning, teknologi og innovation, som siden da har formet tildelingen af forskningsmidler på finansloven.⁷ Strategien fokuserede særligt på at fremme fire områder gennem såkaldte forskningsmissioner:

1. Fangst og lagring eller anvendelse af CO₂
2. Grønne brændstoffer til transport og industri (power-to-X, med videre)
3. Klima- og miljøvenligt landbrug og fødevarerproduktion
4. Genanvendelse og reduktion af plastikaffald og tekstiler.¹

Missionerne har både nationalt og globalt sigte

Regeringen har dermed udvalgt missioner på områder, som både er relevante for at nå Danmarks langsigtede territoriale klimamål, særligt angående kulstoffangst- og lagring, fødevarerproduktion og cirkulær økonomi, men også at bidrage med løsninger med større relevans for udledninger i udlandet gennem satsningen på power-to-X. Power-to-X kan blive mere relevant for opnåelsen af danske klimamål, hvis der indføres et dansk klimamål om at tage hånd om den internationale transport, som Klimarådet har anbefalet.⁸

Missionerne satser ikke på fossilfri energi, bygninger, industri og produktionsmetoder, elektrificering, grøn transport (foruden power-to-X) eller samfundsforandring og grundforskning, herunder adfærdssændringer. Der blev desuden defineret syv grønne temaer, som bruges til at kategorisere samtlige midler øremærket til grønne områder, hvoraf de fire missioner udgør en delmængde (se også figur 3.3 i afsnit 3).

Strategien var formuleret på baggrund af ministeriets kortlægninger af grønne forskningsbehov og potentialer, blandt andet ud fra vurderinger af danske specialiseringer inden for forskning og erhvervsliv. I det arbejde havde ministeriet indhentet bidrag fra vidensinstitutioner, GTS-institutter, en række organisationer, fonde, ministerier samt anbefalingerne fra de 13 klimapartnerskaber, der bredt set afspejler dansk erhvervsliv.⁹ Det fremgår ikke af ministeriets metodebeskrivelse, hvordan ministeriet har modtaget og behandlet bidragene – herunder hvordan kortlægningerne er blevet oversat til de syv temaer og fire missioner.

Strategisk forskning og innovation er vigtigt for at omsætte idéer til positive klimaeffekter

Klimarådet har tidligere beskrevet vigtigheden af, at klimapolitikken både har et implementeringsspor og et udviklingsspor.¹⁰ Implementeringssporet omsætter tilgængelige løsninger til positive klimaeffekter gennem udbredelse i samfundet. Udviklingssporet som frembringer nye løsninger, der over tid kan bidrage til at opnå de danske klimamål. Klimarådet vurderer, at regeringens grønne forskningsstrategi er et vigtigt virkemiddel for at styrke klimapolitikken udviklingsspor og at de fire missioner overordnet set er rettet mod relevante udfordringer.

Klimarådet vurderer samtidig, på linje med Det Forsknings- og Innovationspolitiske Råd (DFiR), at det er en forudsætning for en vellykket langsigtet indsats, at der fastholdes rigeligt med midler til forskning, som ikke øremærkes politisk, men som fordeles efter forskningens egne principper.¹¹ Disse midler understøtter den mest lovende og nyskabende forskning, hvilket desuden kan skabe bedre vilkår for de strategiske indsatser på lang sigt.

Klimaprogram 2023 fokuserer på teknologiske løsninger

Anvendelse af ny teknologi står centralt i regeringens seneste klimaprogram. Her identificerer regeringen reduktionspotentialer fra nye og kendte teknologier på i alt 21 mio. ton CO₂e inden for transport, industri, energi og forsyning, affald og landbrug. Disse tekniske potentialer kan ifølge regeringen realiseres i 2030, hvis man ser bort fra diverse barrierer, fx eksisterende regulering, og omkostninger forbundet med konkrete initiativer, der kan indfri de tekniske potentialer.¹² Imidlertid har ovennævnte barrierer stor betydning for risici forbundet med teknologiudvikling og -udbredelse, som Klimarådet tidligere har fremhævet,¹³ og som der også er fokus på i regeringens nylige aftale om landbruget klima- og miljøeffekter med erhvervs- og civilsamfundsorganisationer.¹⁴

Klimaprogrammets teknologifokus retter sig særligt imod, hvor mange offentlige midler der uddeles til grøn forskning, udvikling og demonstration (FUD) samt midler og initiativer for at understøtte markedsmodning. Der er ikke fokus på at se disse investeringer i et internationalt sammenlignende perspektiv.

¹¹ Oprindeligt hed den fjerde mission ”Genanvendelse og reduktion af plastikaffald” i den grønne forskningsstrategi, men navnet blev justeret i aftaleteksten om forskningsreserven for 2021.

Klimarådet.

Der er betydelige overlap mellem de teknologiske områder, hvor der fokuseres på at anvende mere klimarelateret teknologi, blandt andet ved udbud af støtte til anvendelse af kulstoffangst og power-to-X, og hvor der satses på at udvikle mere ny teknologi gennem missionerne. Men de to indsatsområder fremstår generelt set afkoblede fra hinanden i regeringens klimaprogram.

Et styrket datagrundlag for fremtidens strategiske indsats

Regeringen har annonceret i klimaprogrammerne for 2022 og 2023, at den forventer at præsentere et politisk udspil om grøn forskning og innovation, der har til formål at accelerere udviklingen af grønne løsninger og understøtte indfrielsen af klimalovens mål.¹⁵ Den tidligere regering har nedsat en ekspertgruppe om forskningens betydning for den grønne omstilling, som skal udvikle en analyseramme til, hvordan man bedst foretager politiske prioriteringer og udformer indsatser på området. Den forventes at udkomme i efteråret 2024. Når 2035-målet skal fastlægges i 2025, vil det desuden give anledning til at belyse de mulige omstillingsveje fra 2030 til 2050, hvor strategisk forskning og innovation er vigtige virkemidler. Det vil i den forbindelse være relevant at evaluere og overveje den hidtidige strategiske indsats, der til den tid har været i gang i fem år. Det kommende regeringsudspil kan med fordel igangsætte det forberedende arbejde for en evaluering af den strategiske indsats.

Klimarådet har tidligere opfordret til øget brug af kvantitativ og internationalt sammenlignelige data til at belyse og løbende monitorere den grønne strategiske forsknings- og innovationsindsats.¹⁶ I forbindelse med kommende politiske udspil og forhandlinger om den strategiske grønne indsats på området, vil det ligeledes være relevant at anvende denne form for data til at underbygge satsninger. Det kan supplere den mere kvalitative tilgang fra 2020-strategien og andre organisationer til at prioritere strategiske indsatsområder.¹⁷ Tilsammen kan det give regeringen et mere helhedsorienteret beslutningsgrundlag. Regeringen har et løbende arbejde med at udpege og analysere overordnede danske styrkepositioner, med vægt på erhvervslivets eksport.¹⁸ Andre organisationer har også løbende bidraget med analyser og debat om danske styrkepositioner.¹⁹ Afrapporteringen fra regeringens ekspertgruppe om grøn forskning vil kunne styrke det metodiske beslutningsgrundlag yderligere, særligt med fokus på det grønne område.

2. Dansk vindmølleteknologi med stort globalt aftryk

Dansk vindenergiteknologi er et pejlemærke for den grønne forsknings- og innovationsstrategi

I Danmarks grønne forsknings- og innovationsstrategi fra 2020 er den historiske etableringen af en international, konkurrencedygtig vindmølleindustri i Danmark et pejlemærke for de politiske ambitioner om at udvikle nye klimarelaterede løsninger.²⁰

Danmark er bredt anerkendt for at have ført en innovationspolitik inden for vindenergi med et stort globalt aftryk.²¹ Her har indsatsen med at understøtte udvikling og udbredelse af vindenergiteknologier bidraget til at sænke omkostningerne for vindenergi med cirka 90 pct. siden 1984.²² I år 2000 var cirka 80 pct. af Europas havvindmølleparker placeret i Danmark, og danske virksomheder havde i 2021 leveret vindmøller svarende til cirka 90 pct. af det samlede europæiske marked.²³

Den danske forsknings- og innovationspolitik har været én af flere betydningsfulde faktorer for vindmølleindustriens udvikling. Med til den historie hører også faktorer som en udviklingsorienteret industri, et stærkt engagement fra blandt andet entreprenører og vindmøllelaug samt et internationalt marked, som i stigende grad har drevet efterspørgslen på vindteknologier fra producenter i Danmark.²⁴

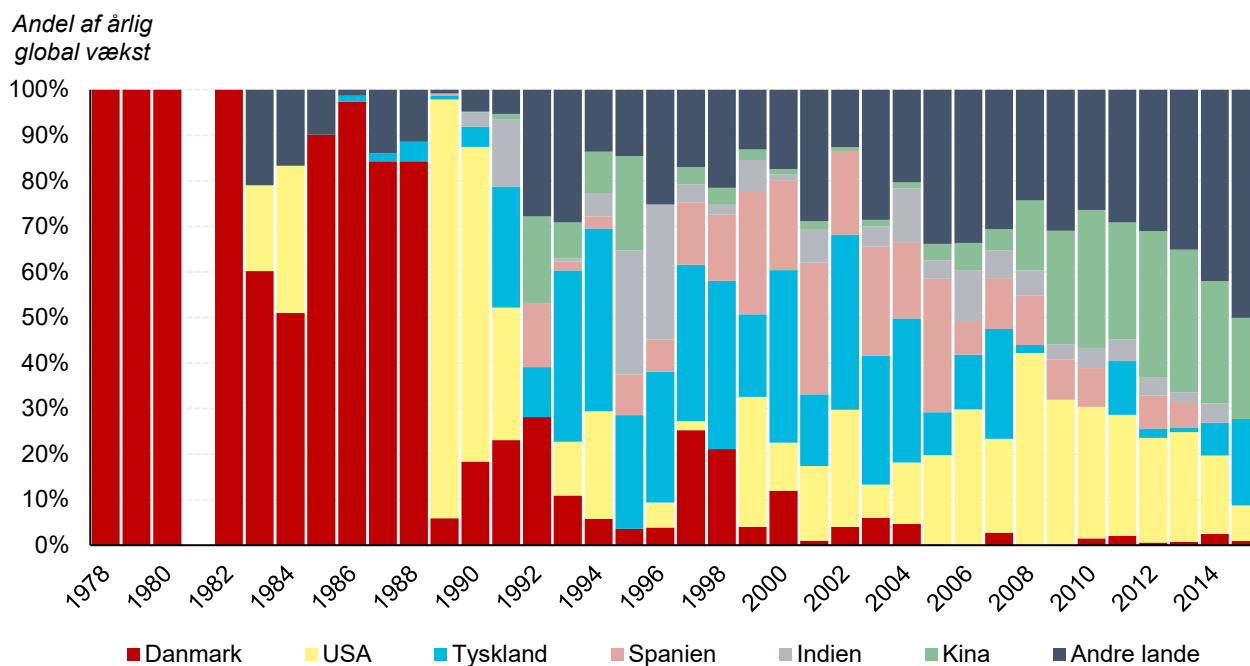
Det tidlige danske marked for vindenergi har været betydeligt på global skala

Udbredelsen af vindenergiteknologi i elproduktionen var i de tidligere år drevet af det danske marked. Figur 2.1 viser, at de årlige globale stigninger i vindenergiproduktionen fra 1978 til 1988 primært fandt sted i Danmark. Dermed havde danske producenter et unikt hjemmemarked til at afprøve deres teknologier og udvikle driftssikre modeller gennem erfaringsopsamling. Det var i denne kontekst, at det moderne 'danske koncept' for vindmølle-design blev udviklet og

udbredt. Det medvirkede til, at danske producenter vandt store markedsandele, da Californien tidligt i 1980'erne begyndte at subsidiere opsætning af vindenergi.²⁵

I enkelte år 1990'erne var det danske marked stadig anseeligt i en global kontekst, men efterspørgslen skiftede til i stigende grad at komme fra blandt andet USA, Tyskland og Spanien. Eksport til udlandet udgjorde dermed den primære afsætningsmulighed for de danske virksomheder, der var blevet etableret. I samme periode blev havvind en ny niche, hvor danske producenter havde et stort hjemmemarked sammenlignet med udlandet, blandt andet ved at etablere verdens to første parker med over 100 MW kapacitet i starten af 2000'erne.²⁶

Figur 2.1 Landenes andele af den årlige bruttovækst i energiproduktion fra vindenergi



Kilde: Our World in Data på baggrund af data fra Ember og Energy Institute²⁷

Anm.: Figuren opgør landenes andele af den årlige bruttovækst i energiproduktion fra vindenergi. Lande, hvor vindenergiproduktionen falder i et givet år, indregnes dermed ikke. Bruttovæksten opstår primært på grund af opsætning af nye vindmøller, men forskelle i årenes vejr påvirker også produktionen. Vindenergiproduktionen var cirka uændret i år 1981, hvorfor søjlen er tom.

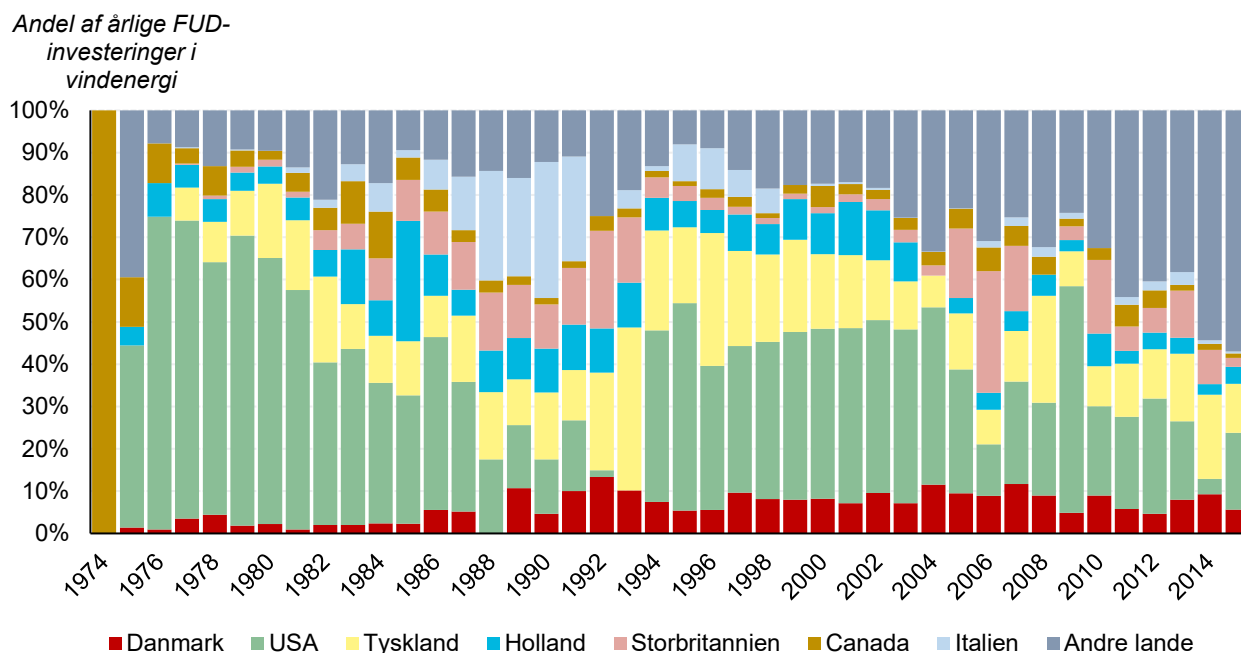
Foruden de politiske beslutninger om at understøtte et marked for vindenergi, peger litteraturen på vigtigheden af den tidlige satsning på fælles testfaciliteter for kvalitetssikring af vindmøller i Danmark. De danske vindmølleproducenter kunne derfor løbende udvikle møllerne, hvilket muliggjorde, at møllerne kunne gøres stadig mere effektive, større og driftssikre.²⁸

Danmark har stået for en anseelig del af verdens offentlige investeringer i udvikling af vindenergi

I 1990'erne opstod der et større behov for at bruge en forskningsbaseret tilgang til udvikling af vindmøller. Det skyldtes en øget efterspørgsel på større vindmøller, der kunne producere mere energi pr. mølle.

Figur 2.2 viser, at Danmark i gennemsnit har stået for 8 pct. af IEA-landenes årlige offentlige investeringer i forskning, udvikling og demonstration (FUD) inden for vindenergi fra 1990-2015. Til sammenligning afholder Danmark typisk cirka 1 pct. af de årlige FUD-udgifter inden for energi samlet set. Samtidig betød de større indtægter fra eksportmarkederne, samt den stigende internationale konkurrence, at virksomhedernes egne investeringer i forskning og udvikling også steg markant.²⁹

Figur 2.2 Landenes andele af de årlige offentlige FUD-investeringer i vindenergiteknologi i IEA



Kilde: IEA

Succesen med vindmøleteknologi beror på en kombination af tidlig efterspørgsel og støtte til udvikling

De ovenstående figurer understøtter konklusioner i innovationslitteraturen om, at Danmarks historiske succes blandt andet skyldtes regeringernes strategiske understøttelse af efterspørgslen efter vindmøleteknologi på hjemmemarkedet, som gjorde det muligt for producenterne at udvikle velfungerende små og mellemstore modeller, som udlandet efterspurgte.³⁰ Dette var i kontrast til andre lande, som tidligt fulgte en mere forskningsbaseret tilgang i forsøget på at lave store vindmøller fra starten af. I tillæg til understøttelse af efterspørgslen, bidrog Danmarks FUD-indsats tidligt gennem etablering af testfaciliteter og vidensspredning og senere til at udvikle større og mere forskningskrævende møller, herunder til opsætning under vanskeligere forhold på havet.

Den senere succes for branchen, som belyses i afsnit 3, har desuden beroet på udnyttelse af de tidligere styrkepositioner til at opnå eksportindtægter, som private virksomheder kunne geninvestere i yderligere forskning og udvikling.³¹

Den internationale konkurrence om markedet for klimarelaterede teknologier er hårdere i dag

Danmarks tidlige bidrag til udviklingen og udbredelsen af moderne vindmøleteknologi fandt sted i en tid præget af oliekriserne, hvor der var et stort globalt fokus på forsyningssikkerhed og i mindre grad på klimahensyn. I dag har mange lande øget deres forsknings- og innovationsindsatser målrettet klimarelaterede løsninger, både for at bidrage til Parisaftalens mål og for at opnå konkurrencemæssige fordele som led i den tiltagende brug af industripolitik.³²

Denne stigende internationale konkurrence kan betyde, at Danmark kan få svært ved at opnå den samme globale effekt fra nye klimarelaterede løsninger som med vindenergiteknologi. Det gælder eksempelvis inden for power-to-X, hvor mange lande investerer stort i disse år. I 2021, hvor den danske regering lancerede sin strategi for "Fremtidens grønne brændstoffer"³³, havde mere end 30 lande således udarbejdet køreplaner for brint, mere end 200 storskalabrintprojekter var blevet annonceret på verdensplan, over 80 mia. amerikanske dollars var globalt set investeret i modne brintprojekter var blevet annonceret på verdensplan, over 80 mia. amerikanske dollars var globalt set investeret i modne brintprojekter med yderligere lovning på 220 mia. dollars fra den private sektor og 70 mia. dollars i offentlig finansiering.³⁴ Dette understreger behovet for grundige overvejelser angående udformningen af Danmarks strategiske forsknings- og innovationsindsats.

3. Tre indikatorer til at informere prioriteringerne i den strategiske indsats

Dette afsnit undersøger Danmarks forudsætninger for at frembringe nye klimaløsninger. Klimarådet tager her udgangspunkt i den eksisterende grønne forskningsstrategi og i resultaterne fra Klimarådets analyse *Danmarks klimamål i 2050*. Formålet er dels at øge vidensgrundlaget for de kommende politiske forhandlinger om strategiske prioriteter, og dels at bidrage til udviklingen af empiriske metoder, der vil kunne bruges i fremtiden til at monitorere og prioritere i Danmarks forsknings- og innovationspolitiske indsatser.

I dette notat er det prioriteret at fokusere på teknologiudvikling på tre forskellige modenhedsniveauer, men det vil også være relevant at udvikle og anvende indikatorer, som bedre fanger potentialer og værdiskabelse fra forskning og innovation inden for blandt andet energisystemer, adfærdsændringer og viden om klimaforandringerne påvirkninger.

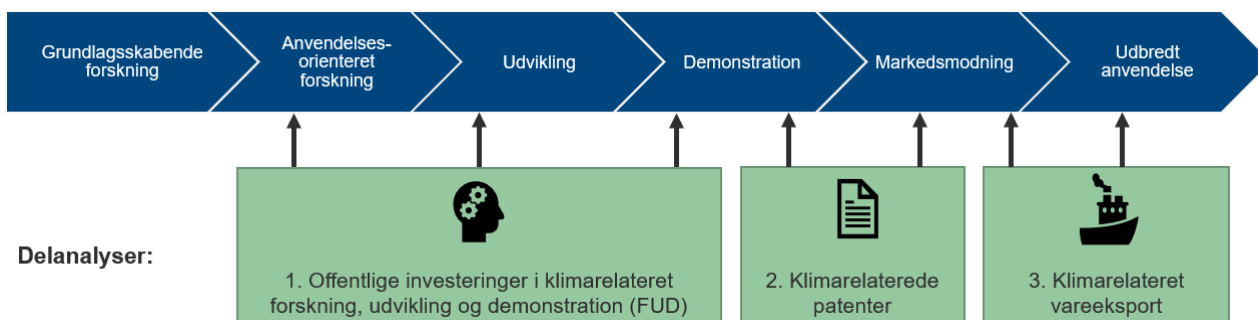
Tre indikatorer kan belyse Danmarks forudsætninger for at bidrage til forskning og innovation inden for klimateknologier:

- 1. Offentlige investeringer i klimarelateret forskning, udvikling og demonstration (FUD).** Indikatoren viser, hvor mange ressourcer staten har stillet til rådighed til at fremme udvikling af teknologier på de lavere modenhedsniveauer.
- 2. Klimarelaterede patenter.** Indikatoren kan give et indtryk af, i hvor høj grad universiteter og virksomheder lykkedes med at omsætte ny viden til teknologier, der kan markedsmodnes og udbredes.
- 3. Klimarelateret vareeksport og relevante produktionsmæssige kompetencer.** Indikatoren belyser, hvilke klimarelaterede produktionsmæssige specialiseringer Danmark har. Det belyses også om der er andre relevante kompetencer til stede i økonomien, der kan skabe forudsætninger for at sætte nye klimavenlige teknologier i produktion i Danmark.

Som illustreret i figur 3.1 kan disse tre indikatorer tilsammen give relevant information om Danmarks forudsætninger på tværs af teknologiske modenhedsniveauer. Indikatorernes begrænsninger uddybes i næste afsnit.

Alle indikatorerne anvender international sammenlignelig data, så Danmarks resultater kan vurderes i forhold til den internationale kontekst.³⁵ De anvendte metoder beskrives kort i de respektive afsnit og uddybes i baggrundsrapporten.

Figur 3.1 De tre indikatorer belyser kæden fra strategisk forskning til udbredelse af teknologiske løsninger



Kilde: Klimarådet.

De tre indikatorer for Danmarks forudsætninger kan bidrage med relevant viden, men ikke give et fuldstændigt vidensgrundlag for strategiske beslutninger. Klimarådet har tidligere peget på en række indikatorer, som vil være relevante at udvikle og anvende.³⁶ Det kan fx være indikatorer, som bedre reflekterer kvalitet og specialiseringer i forskningen, internationalt samarbejde, opgørelser over hvor stor fremdrift i TRL-niveau som projekter med offentlig støtte opnår, eller vækstfinansiering af virksomheder med klimarelaterede produkter.

Regeringens ekspertgruppe kan også forventes at udpege yderligere relevante datapunkter, som kan understøtte strategiske beslutninger. Klimarådet har opfordret til, at regeringens årlige globale afrapportering øger monitoreringen af forsknings- og innovationsindsatsen.

3.1. Indikatorernes muligheder og begrænsninger

Den strategiske forsknings- og innovationsindsats på klimaområdet har hidtil primært været underbygget med kvalitative undersøgelser af Danmarks muligheder og udfordringer. I det omfang der har været et kvantitativt datagrundlag, har det enten ikke været offentligt gennemskueligt eller med perspektiv på den internationale kontekst. Tilgangen med at indsamle vurderinger fra centrale aktører bibringer værdifuld viden, særligt om alle de kompetencer, netværk og faciliteter, som kan være svære at kvantificere, men et større fokus på den internationale kontekst savnes.

Resultaterne for de tre indikatorer i dette notat anvender kvantitative data og bidrager med et historisk og et internationalt perspektiv på Danmarks forudsætninger. Indikatorerne viser eksempelvis, på hvilke områder Danmark over en længere årrække har investeret mange FUD-midler i forhold til andre lande.

De udvalgte datakilder kan hjælpe med at belyse de udvalgte områder kvantitativt og internationalt sammenligneligt, hvilket Klimarådet efterspurgte i *Kommentering af global afrapportering 2024*.³⁷ Indikatorerne kan være et afsæt til en mere systematisk og internationalt orienteret tilgang til at belyse området for klimarelateret forskning og innovation.

Indikatorerne kan ikke vise, hvilke områder der fremover skal sættes på, men de kan bidrage til at styrke det samlede beslutningsgrundlag.

Analysemetoderne kan videreudvikles og suppleres

Indikatoren om forskning, udvikling og demonstration (FUD) belyser det input af ressourcer, som de forskellige forskningsområder har fået stillet til rådighed gennem offentlige investeringer i IEA-landene. Det vil være hensigtsmæssigt at sammenstille dette med både kvantitative og kvalitative kilder, der bedre kan afspejle, hvad man har fået ud af midlerne, der er blevet investeret. Derudover er datamaterialet mest orienteret mod produktion og anvendelse af energi, hvorfor der med fordel kan arbejdes på at styrke datagrundlaget for blandt andet fødevarer og jordbrug, cirkulær økonomi og forskning i klimavenlig adfærd.

Inden for patentanalysen er der større fokus på antallet af klimarelaterede patenter end på kvaliteten. Udvælgelsen af patenter er baseret på udtagning i både EU og USA, så der udelukkende ses på de patenter, som vurderes af ejerne til at have stort nok kommercielt eller strategisk potentiale til at opveje omkostningerne ved patentering i begge disse to store markedsområder. Alligevel kunne man med fordel supplere med forskellige kvantitative mål for patenternes kvalitet, fx efterfølgende referencer i andre patenter eller patenternes referencer af forskningsstudier.³⁸ Forskellene i resultaterne for de forskellige teknologiske områder kan desuden skyldes, at der er forskel på branchernes tilbøjelighed til at patentere ny viden. Der kan altså godt ske fremskridt som enten deles gennem åbenhed eller forsøges beskyttet gennem hemmeligholdelse frem for juridisk beskyttelse. Branchernes særlige karakteristika angående patentering kan med fordel undersøges nærmere.

For delanalysen om vareeksport er resultaterne især afhængige af, hvilke varegrupper som udpeges som klimarelaterede, og herunder om specifikke klimarelaterede varer kan identificeres tydeligt blandt de cirka 5.600 varegrupper i FN's globale handelsstatistik. Serviceeksportstatistikken er betydeligt mindre detaljeret, hvorfor klimarelaterede services vanskeligt lader sig analysere kvantitativt og internationalt sammenligneligt.

I analysen af eksportdata sker der en afvejning mellem at belyse et lands klimarelaterede eksport præcist og mulighederne for at kunne lave internationale sammenligninger. Regeringens årlige opgørelse er eksempelvis mere præcis, da den vægter eksporten af en række varekoder, baseret på hvilke andele af den pågældende eksport i Danmark som kan siges at være klimarelateret. De samme vægte kan ikke bruges for andre lande, hvor eksporten inden for kategorierne er forskellig fra den danske. Desuden anvendes der mere detaljerede varekategorier, end dem som bruges uden for EU. Indikatoren i dette notat prioriterer omvendt international sammenlignelighed.

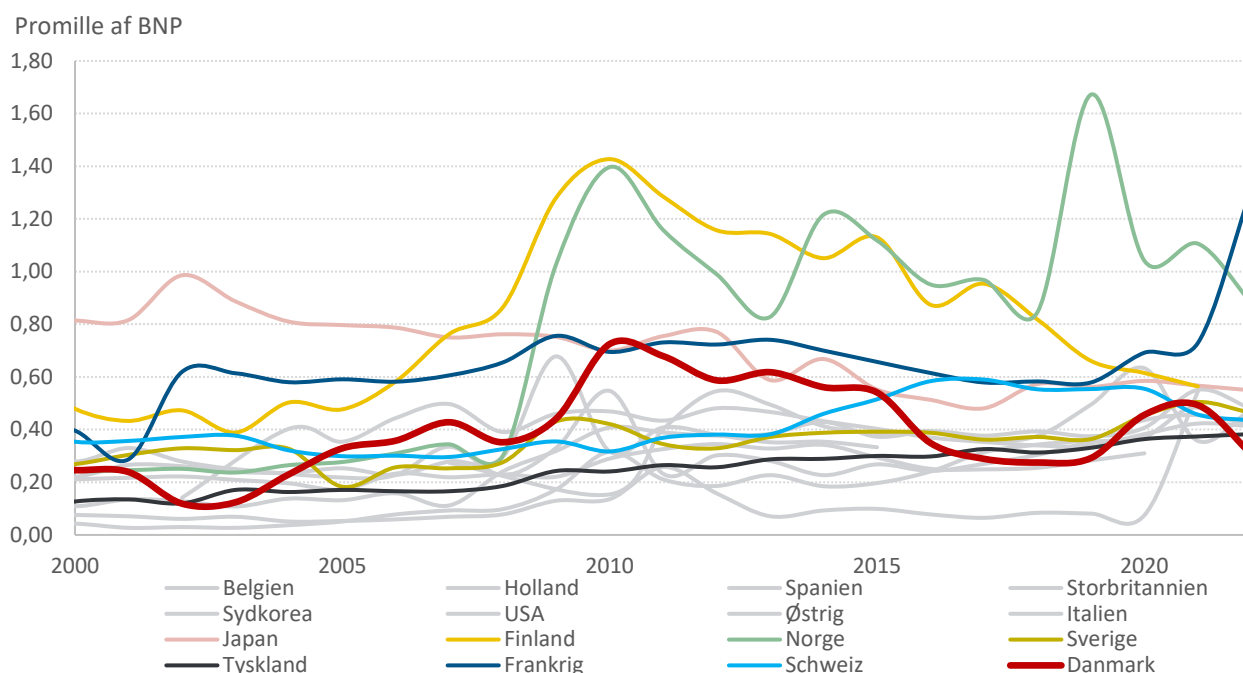
3.2. Indikator 1: Offentlige investeringer i klimarelateret forskning, udvikling og demonstration

Danmark har mistet sin fremtrædende position inden for offentlige investeringer i energiteknologi

Danmark har mellem 2005 og 2015 ligget blandt de seks lande i sammenligningen med de højeste offentlige investeringer i klimarelateret energiteknologi relativt til økonomiens størrelse. Figur 3.2 viser nogle af de industrialiserede landes offentlige FUD-midler til grøn energiteknologi i perioden 2000-2022 som andel af BNP.

Der er for alle lande betydelige årlige udsving, både på grund af ændrede FUD-bevillinger, den økonomiske krise efter finanskrisen i 2008, som reducerede BNP i de pågældende år, og den efterfølgende økonomiske vækst. De mest investerende lande – Finland, Norge, Japan og Frankrig – har i længere perioder investeret mellem 0,7-1,6 promille af BNP. Danmark lå i 2010 omkring dette niveau, men har ikke investeret i dette omfang siden.

Figur 3.2 Offentlige investeringer i forskning, udvikling og demonstration af klimarelateret energiteknologi i udvalgte lande



Anm. 1: Hvor IEA's data for Danmark matcher Uddannelses- og Forskningsministeriets (UFM) egne detaljerede opgørelser for 2020 og 2021, er der en større afvigelse i 2022, hvor IEA's opgørelse er lavere, jf. baggrundsrapporten. Det kan blandt andet skyldes, at cirka 300 mio. kr. i ubrugte midler i Innovationsfonden blev flyttet fra 2021 til 2022, men regnes med i 2021 af IEA. Det kan også skyldes, at flere frie midler gik til energiområdet og at der derfor er dårligere datadækning hos IEA for disse midler. Hvis UFM's opgørelse anvendes, var 2022 på 0,48 promille af BNP eller lidt under niveauet for 2021. I UFM's detaljerede opgørelse indregnes der dog finansiering fra flere offentlige kilder end i resten af dataserien fra IEA, hvorfor dette tal ikke nødvendigvis er internationalt sammenligneligt.

Anm. 2: For USA findes data kun frem til 2015. Kina har også omfattende FUD-investeringer, men indgår ikke i IEA-data.

Anm. 3: Anvendte kategorier for klimarelaterede energiteknologier i IEA's database: Energieffektivitet, vedvarende energikilder, kulstoffangst og -lagring, atomkraft, brint- og brændselsceller, andre energi- og lagringsteknologier og anden teknologi og forskning.

Kilder: IEA og Klimarådet.

At forøgelsen af midlerne til energi i forbindelse med den grønne forskningsstrategi i 2020 ikke er større, kan desuden ses i lyset af, at der derudover er tilført flere FUD-midler til landbrugsområdet, samt at private fonde har øget deres investeringer i klimarelateret forskning, som vist i figur 3.3. Der er desuden grund til at tro, at Danmarks investeringer i 2022 undervurderes i datamaterialet og i stedet var tættere på niveauet for 2021, hvilket belyses i baggrundsrapporten.

Dermed er det muligt, at Danmarks investeringer var på et mere jævnt niveau med den større gruppe af velstående lande, som brugte cirka 0,4-0,6 promille af BNP på FUD-investeringer i energi.

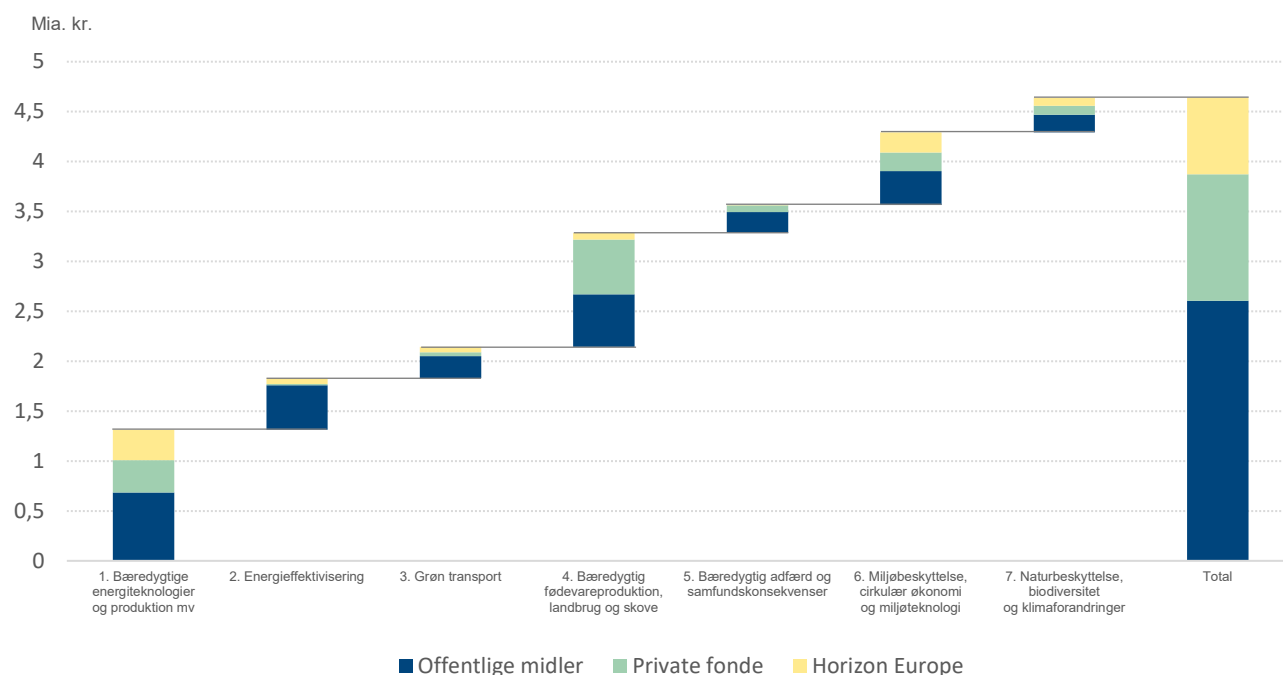
Ifølge IEA er verden på vej mod det niveau af FUD-midler inden for energiområdet, som omstillingen som minimum forventes at kræve.³⁹ Der er dermed kommet større international konkurrence om at frembringe klimarelaterede energiteknologier, men også nye muligheder for internationalt samarbejde.

Danmarks grønne forsknings- og innovations midler går hovedsageligt til energiproduktion, energieffektivisering og fødevarerproduktion

Der blev i alt investeret cirka 4,6 mia. kr. i 2022, heraf 2,6 mia. kr. fra offentlige kilder, 1,3 mia. kr. fra private fonde og 0,8 mia. kr. fra EU. Private fonde har altså fået et markant aftryk på finansieringen af den danske klimarelaterede forskning. Det betyder også, at der samlet tilføres flere midler til forskning på energiområdet, end figur 3.2 viser. De private forskningsmidler går primært til temaerne energiproduktion og -teknologi og fødevarerproduktion. Der tildes også mange offentlige midler i disse kategorier, og derudover udgør de hovedparten af finansieringen inden for energieffektivisering, grøn transport og bæredygtig adfærd og samfundskonsekvenser.

Figur 3.3 viser fordelingen af grønne FUD-midler i Danmark i 2022 fra henholdsvis den offentlige sektor i Danmark, private fonde og EU's Horizon program, inklusiv midler som ikke var øremærkede til de grønne formål. Midlerne er tildelt inden for de syv temaer, som blevet defineret med forskningsstrategien i 2020. Temaerne dækker også over områder, der ikke er direkte relateret til klimaet, herunder miljø, natur og biodiversitet.

Figur 3.3: Bevillinger til grøn forskning og innovation i 2022 fordelt på regeringens grønne temaer og finansieringskilder



Kilde: Uddannelses- og Forskningsministeriet⁴⁰

Der er uddelt cirka 2,1 mia. kr. inden for temaerne energiproduktion, energieffektivisering, og grøn transport, heraf 1,4 mia. kr. fra offentlige kilder. Derudover er der tildelt cirka 1,1 mia. kr. inden for bæredygtig fødevarerproduktion, landbrug og skove, heraf cirka halvdelen fra offentlige kilder. Endelig er der investeret cirka 280 mio. kr. inden for bæredygtig adfærd og samfundskonsekvenser. I de to resterende kategorier indgår også investeringer i cirkulær økonomi og viden om klimaforandringer, men de kan ikke isoleres fra de mindre klimarelaterede elementer i kategorierne.

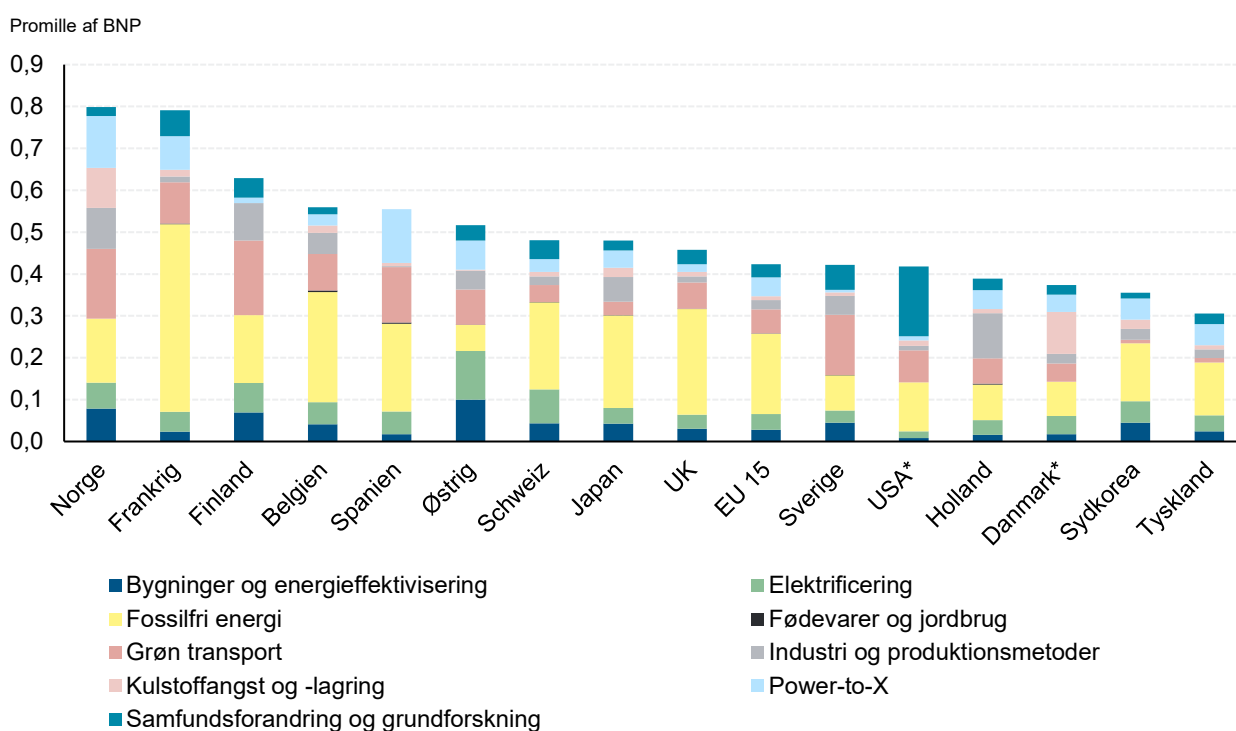
Danmark bruger færre offentlige midler på at frembringe nye energiteknologier end andre lande

Sammenlignet med andre lande, skiller Danmark sig særligt ud ved at afsætte flest midler til kulstoffangst og -lagring sammen med Norge relativt til økonomiernes størrelse. Inden for power-to-X er Danmark på niveau med en række lande, herunder Tyskland og Sydkorea, men Spanien, Norge og Frankrig afsætter mindst dobbelt så mange midler som Danmark relativt til økonomiernes størrelse.

Adskillige lande afsætter desuden flere midler end Danmark til fossilfri energi, bygninger, elektrificering og grøn transport. USA, Frankrig, Sverige, Finland og Schweiz skiller sig ud ved at afsætte mange midler til samfundsforandring og grundforskning i relation til energi.

Figur 3.4 viser 15 forskellige landes og EU15-landenes offentlige FUD-midler til energiteknologi som andel af BNP i et gennemsnit for 2020-2022.

Figur 3.4 Offentlige FUD-midler inden for energiteknologi som andel af BNP, gennemsnit for årene 2020-2022



Anm. 1: Data for seneste tre år med tilgængeligt data (2020-2022). For USA dækker den seneste data årene 2013-2015. USA's søjle er altså ikke nødvendigvis retvisende for det aktuelle niveau, men er medtaget pga. den bemærkelsesværdige sammensætning, hvor en større andel af midlerne går til kategorien samfundsforandring og grundforskning.

Anm. 2: Data for Danmark i 2022 kan underestimere omfanget af FUD-investeringer, jf. baggrundsrapporten. Hvis enten 2022 udelades fra gennemsnittet eller UFM's opgørelse af bevillinger til de tre energirelaterede temaer i 2022 anvendes i stedet for IEA's estimat for 2022, vil Danmark ligge på cirka 0,47 promille af BNP, tæt ved Japans placering midt i grafen. Det er uvist, om denne mulige undervurdering i data er særlig for Danmark eller forekommende for flere lande, fx i tilfælde af ressourcebegrænsninger i samlingen af den seneste data hos IEA.

Anm. 3: Fødevarer og jordbrug inkluderer her kun investeringer relateret til områdets energirelaterede udledninger, som kun udgør en mindre del af områdets klimaaftryk. Kun få lande har investeringer i denne kategori.

Kilder: IEA og Klimarådet.

Danmark har afsat relativt mange midler til power-to-X og kulstoffangst- og lagring

Figur 3.5 viser den historiske udvikling i mængden af forskningsmidler, som går til A) kulstoffangst og -lagring, B) power-to-X, C) fossilfri energi, og D) fødevarer og jordbrug. Tre af de fire områder afspejler tre af de fire missioner i regeringens forskningsstrategi. Datamangler har gjort det vanskeligt at vurdere området for cirkulær økonomi, hvorfor der i stedet også fokuseres på fossilfri energi, hvor Danmark har haft en langvarig strategisk indsats.

I starten af perioden fra 2012-2015 samt i 2019 lå Danmark i front inden for investeringer i power-to-X relativt til økonomiens størrelse. Danmark har i andre år ligget højt i forhold til de andre lande i sammenligningen, dog overgået af blandt andre Schweiz.

I 2021 begyndte flere lande at øge investeringerne til power-to-X markant. Fra et typisk niveau under 0,05 promille af BNP øger en række lande, herunder Danmark investeringerne til 0,05-0,1 promille af BNP, mens Norge og Spanien investerer 0,25-0,29 i enkelte år. Danmark skiller sig altså ud ved at have investeret mere end de fleste andre lande over en længere årrække og er i de senere år ét land blandt en række lande med øgede ambitioner.

Danmark har ikke investeret nævneværdigt inden for FUD af kulstoffangst og -lagring før 2020. Norge har historisk investeret markant mere end andre lande. Ørsteds beslutning om at bruge over 1,5 mia. kr. af deres offentlige støtte til kulstoffangst og -lagring på at købe udstyr fra en norsk producent kan blandt andet forstås i dette lys.⁴¹ I 2021 og 2022 er Danmark dog blevet det land, som bruger den største andel af BNP på FUD-midler på området. Data for underkategorierne indikerer, at Danmark skiller sig ud ved at fokusere på transport og lagring.

Fossilfri energi har fået mindre prioritet i Danmark

I 2012 var Danmark et af de lande, som brugte den største andel af BNP på FUD-midler i fossilfri energi. Mens Danmark fokuserede på vindenergi inden for denne hovedkategori, har andre lande blandt andet fokuseret på solenergi og kernekraft. Denne andel er faldet siden 2022, hvor Danmark er et af de lande i sammenligningen, som bruger færrest midler på fossilfri energi relativt til økonomiens størrelse.

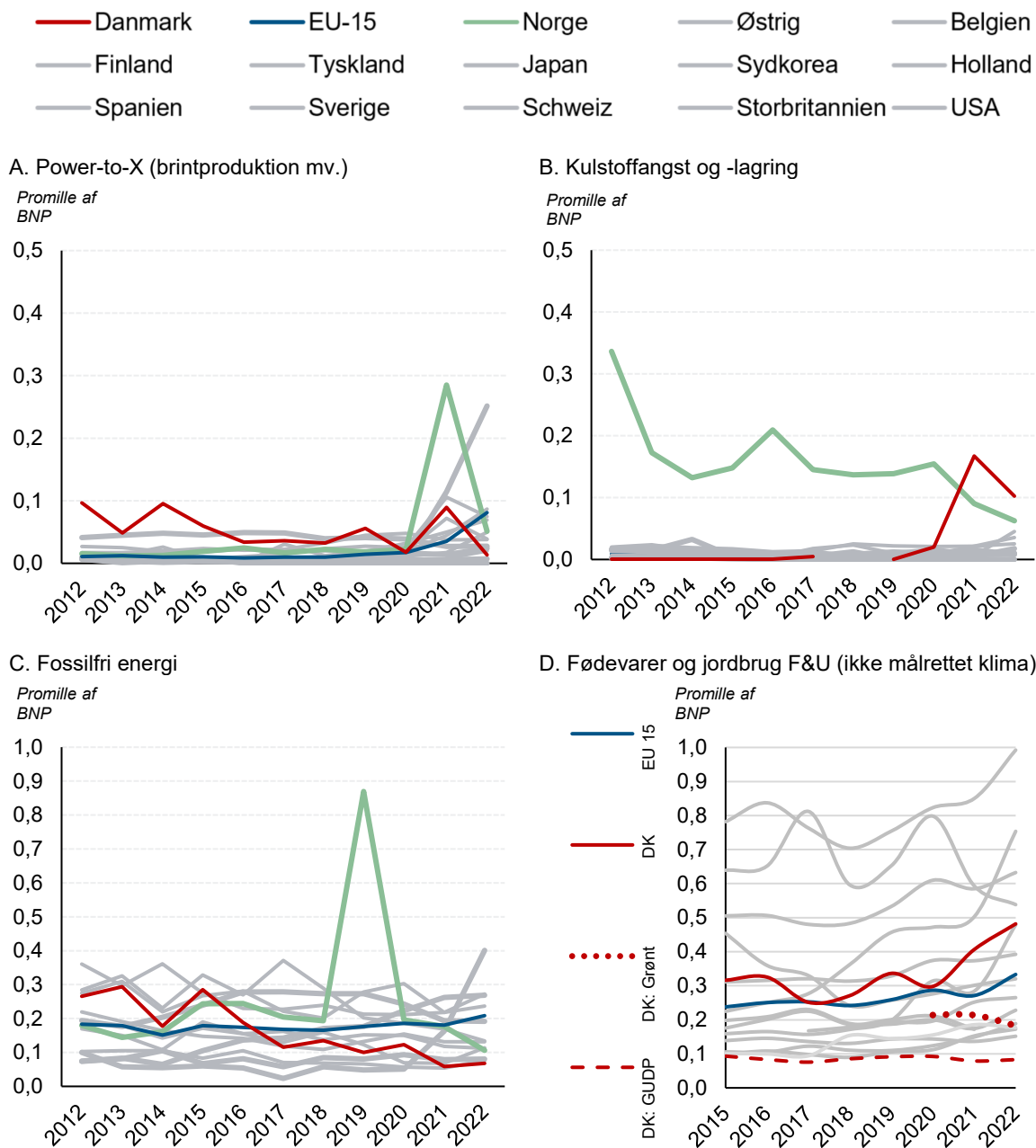
Fødevarer og jordbrug er vanskeligt at vurdere

Det er vanskeligt at tilgå internationalt sammenlignelig og klimarelateret data om FUD-investeringer inden for fødevarer og jordbrug. Figur 3.5D viser derfor midler til forskning og udvikling (F&U) inden for området generelt, uden nødvendigvis at have et klimamæssigt formål. Der eksisterer dog data om delvist klimarelaterede midler for Danmark, som vises med to stiplede linjer. Der er data for hele perioden for FUD-midler uddelt af statens Grønne Udviklings- og Demonstrationsprogram (GUDP), som blandt andet fokuserer på klimarelateret omstilling af fødevarerproduktionen. For 2020-2022 vises Uddannelses- og Forskningsministeriets opgørelse over offentlige FUD-midler investeret inden for temaet 'bæredygtig fødevarerproduktion, landbrug og skov'. Lignende data for andre lande har ikke kunne identificeres, og det er derfor ikke muligt at sammenligne forskningsmidler til bæredygtige fødevarer på tværs af lande.

Det ses i figuren, at Danmark har relativt store F&U-investeringer inden for fødevarer og jordbrug generelt, typisk lige under de fem mest investerende lande relativt til økonomiernes størrelser. Fra 2015-2020 er der investeret cirka 0,3 promille af BNP, hvilket er mere end niveauet for fossilfri energi i perioden. Heraf har cirka 0,1 promille været investeret via GUDP. I 2021-2022 er investeringerne på området generelt forøget markant til næsten 0,5 promille af BNP i 2022, hvilket kan hænge sammen med, at den grønne forskningsstrategi fra 2020 prioriterede området. Regeringens opgørelse af grønne investeringer inden for dette tema i årene 2020-2022 viser, at der årligt er investeret cirka 0,2 promille af BNP.

Beregningerne indikerer, at den øgede grønne satsning på området i 2020 gjorde brug af omprioritering fra de eksisterende midler på området, da det generelle investeringsniveau samtidig faldt. Omvendt ser de grønne midler i 2021-2022 ud til i højere grad at have været i tillæg til de midler, der historisk er gået til området. Det samlede investeringsniveau på området steg betydeligt, samtidig med at de grønne investeringer var uændrede i 2021 og faldt svagt i 2022 relativt til BNP. Der er altså stadig forholdsvis mange forskningsmidler på området, som ikke er klimarelaterede, hvor der kan være potentiale for en omprioritering, hvis det ønskes politisk.

Figur 3.5 Historiske offentlige FUD-investeringer på udvalgte områder med strategiske satsninger



Anm. 1: Der er ikke identificeret internationalt sammenlignelig data om FUD-midler til cirkulær økonomi, hvorfor der i stedet fokuseres på den historiske strategiske satsning inden for fossilfri energi. Der indgår kun data for USA frem til 2015.

Anm. 2: I panel D vises data for offentlige investeringer i forskning og udvikling (F&U) inden for området fødevarer og jordbrug generelt i mangel på international sammenlignelig data med klimamæssigt fokus. Der er derfor tilføjet to ekstra stiplede dataserier, som kan give et indtryk af Danmarks klimamæssige prioriteringer inden for fødevarer og jordbrug. Disse kan dog ikke sammenlignes internationalt med det givne datagrundlag. Serien *DK: Grønt* viser Uddannelses- og Forskningsministeriets vurdering af offentlige investeringer inden for temaet 'Bæredygtig fødevarerproduktion, landbrug og skove'. Serien *DK: GUDP* viser de offentlige investeringer som foretages gennem 'Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram', som blandt andet har et klimamæssigt fokus. *DK: GUDP* bidrager derfor med en væsentlig delmængde af *DK: Grønt*, som igen udgør en delmængde af Danmarks samlede offentlige investeringer i forskning og udvikling (F&U) inden for fødevarer og jordbrug.

Anm. 3: Resultaterne for de øvrige hovedkategorier vises i baggrundsrapporten.

Kilder: Panelerne (a), (b), (c) og (d) er baseret på data fra OECD og Klimarådet. Panel (d) er desuden baseret på data fra Uddannelses- og Forskningsministeriet vedrørende klimarelaterede investeringer inden for fødevarer og jordbrug.

Danske FUD-investeringer i power-to-X har været store globalt set, men er faldet relativt til udlandet

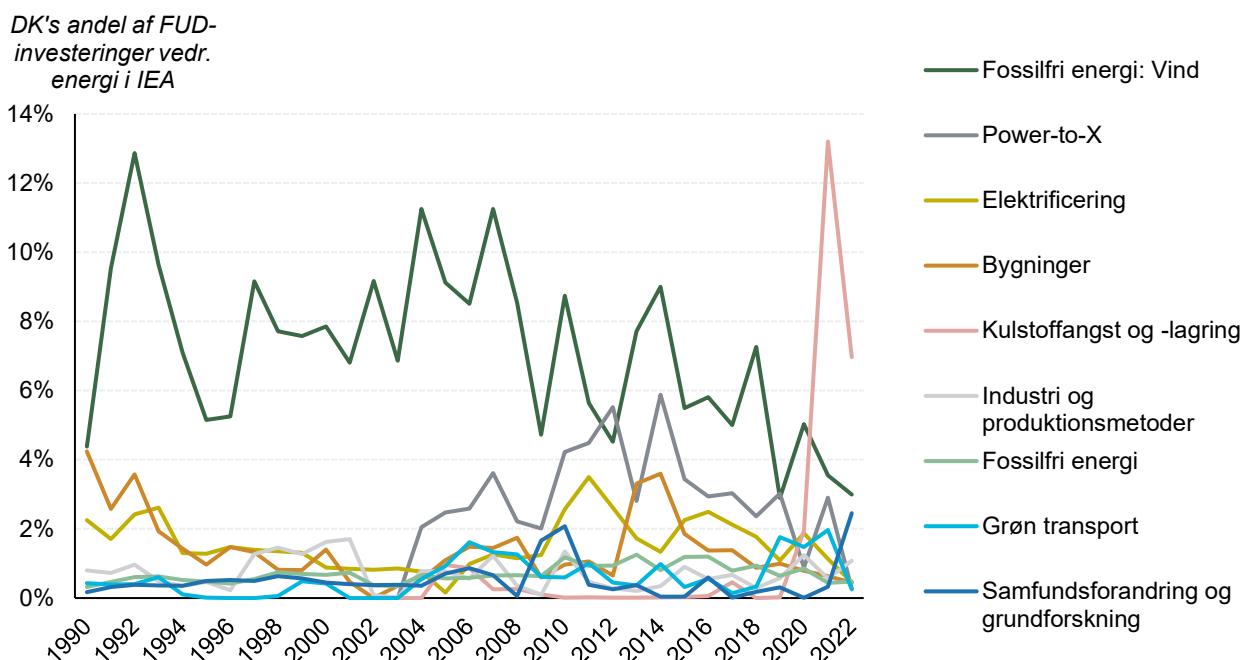
Når Danmarks FUD-investeringer inden for hver hovedkategori opgøres relativt til FUD-investeringerne i IEA, kan det give en indikation af, om investeringerne er omfangsrige nok til at kunne få en større global betydning. Selv om der ikke er en simpel sammenhæng mellem investeringer og resultater, vil det i udgangspunktet give Danmark bedre forudsætninger på et område, jo større en andel af verdens FUD-investeringer der foretages i Danmark. Det kan bidrage til, at der kommer tilstrækkelig 'kritisk masse' af forskning og erhvervsliv på området til at eksperimentering, samarbejde og konkurrence kan føre til nybrud med potentiale for betydelige positive klimaeffekter.

Danmarks andel af IEA-landenes samlede FUD-investeringer relateret til energi udgør ca. 1 pct., men der er stor variation mellem forskellige områder. Figur 3.6 viser, at Danmark i gennemsnit foretaget 7 pct. af investeringerne inden for underkategorien vindenergi siden 1990, dog med en faldende tendens siden 2007, hvor 11 pct. af IEA-landenes investeringer blev foretaget af Danmark.

Danmark har historisk investeret anseeligt i power-to-X-området. Der var en stigende tendens gennem 2000'erne og i de fem år fra 2010-2014 stod Danmark for 4,6 pct. af IEA-landenes investeringer på området. Herefter fulgte en faldende tendens i takt med at flere lande er begyndt at investere på området. IEA-landene investerede mere end fire gange så mange midler på området i 2022 som i 2016.

I årene 2021 og 2022 har Danmarks FUD-investeringer i kulstoffangst og -lagring udgjort hhv. 13 pct. og 7 pct. af IEA-landenes investeringer. Her har man altså prioriteret i et lignende omfang som tidligere inden for vindenergi, om end Danmark ikke har den samme historik med konsistente investeringer som inden for power-to-X. Danmark har i perioder også haft større andele af investeringerne inden for bygninger (start-1990'erne og midt-2010'erne), elektrificering (start-1990'erne og 2010'erne), grøn transport (2018-2021), og samfundsforandring og grundforskning (2009-10 og 2022).

Figur 3.6 Danmarks andel af IEA-landenes FUD-investeringer vedr. energiteknologi i hovedkategorierne og vindenergi



Anm. 1: Data dækker over energiteknologi, der ikke er relateret til afbrænding af fossil energi, bortset fra kulstoffangst og lagring. USA indgår ikke i totalen fra 2016-2022 på grund af manglende indrapportering til IEA, hvorfor andelen for alle andre lande overvurderes herefter. Kategorien om energiforbrug inden fødevarer og jordbrug vises ikke af grafiske årsager. Serien har kun et enkelt, højt datapunkt på 33 pct. i 2012.

Anm. 2: Kategorien *Fossilfri energi: Vindenergi* er en underkategori, som også vises i figuren for at give et referencepunkt.

Kilder: IEA og Klimarådet.

Danmark har satset på udvalgte teknologiske nicher på et globalt anseeligt niveau

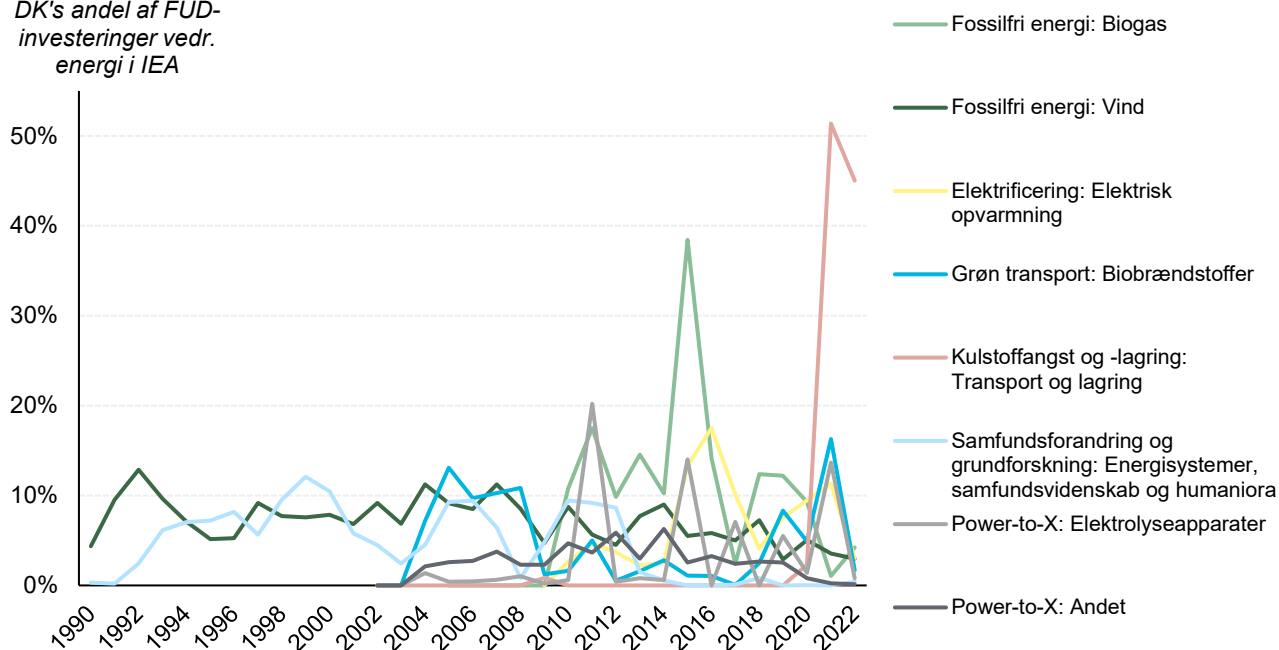
De ovenstående danske andele af OECD-landenes investeringer kan også opgøres mere detaljeret på underkategorier. I figur 3.7 kan det ses, hvordan Danmark siden 1990 har skilt sig ud på globalt plan ved at satse på udvalgte teknologiske nicher. Foruden den langvarige satsning på vindenergi kan det ses, at Danmark har stået for en relativt stor andel af OECD-landenes investeringer bl.a. inden for forskning i energisystemer mv. frem til 2010'erne, biogas i 2010'erne, elektrisk opvarmning i 2010'erne og biobrændstoffer i 2000'erne og siden slutningen af 2010'erne.

Der har desuden været år med markante investeringer i elektrolyse i 2010'erne kombineret med et stabilt moderat niveau for anden power-to-X-teknologi, herunder brændselsceller, siden 2000'erne. Endeligt har Danmark i de seneste år stået for 45-51 pct. af investeringerne inden for transport- og lagring af kulstof.

Figuren viser de otte underkategorier, hvor Danmark i gennemsnit har haft en højeste investeringsandel siden 1990. Efter de viste otte kategorier følger fem kategorier vedrørende bygninger, herunder smart-grids, fjernvarme og andet, og elektrificering, herunder elsystemer og el- og varmelagring.

Figur 3.7 Danmarks andel af IEA-landenes FUD-investeringer vedr. energiteknologi i udvalgte underkategorier

DK's andel af FUD-investeringer vedr. energi i IEA



Anm 1.: Figuren viser de otte underkategorier, hvor Danmark har haft de største andele af de årlige FUD-investeringer i IEA i gennemsnit i perioden 1990-2022.

Anm 2.: Data dækker over energiteknologi ikke-relateret til fossil energi, bortset fra kulstoffangst og lagring. USA indgår ikke i totalen fra 2016-2022.

Kilder: IEA og Klimarådet.

3.3. Indikator 2: Klimarelaterede patenter

Patentdata kan bruges til at vurdere og kvantificere resultatet af de danske FUD-investeringer. Disse patentdata komplimenterer altså den forudgående indikatorer om ressourcerne der investeres i klimarelateret forskning, udvikling og demonstration.

Et patent giver ejeren en geografisk afgrænset, eksklusiv ret til at afholde andre fra at bruge det patenterede produkt eller proces, typisk i en 20-årig periode.⁴² Patentdata kan derfor dels indikere, hvorvidt forsknings- og udviklingsmidler bliver omsat i patenterede teknologier, og dels indikere hvilke teknologier virksomheder finder tilstrækkeligt værdifulde til at ville patentere.

Patenter afspejler ikke noget om reduktionspotentialer

Patentering af teknologier er imidlertid ikke nødvendigvis ensbetydende med, at teknologierne introduceres og udbredes på markedet. Dels fordi mange patenter ikke viser sig at have kommerciel værdi, og dels fordi patenteringer også kan bruges strategisk til at afholde konkurrenter fra at kunne producere potentielle konkurrenceforbedrende teknologier. Der er derudover forskelle mellem brancherne for omfanget af patentering, da patentering typisk vil forekomme ved produkter, som handles på markedet frem for ved interne procesforbedringer, eller hvor hemmeligholdelse vurderes at give bedre beskyttelse af firmaets viden. Patentindikatoren kan derfor indikere, hvilke resultater med mulighed for erhvervsmæssig anvendelse der opstår på baggrund af landenes vidensgrundlag, men ikke hvilke CO₂e-reduktioner de resulterer i.

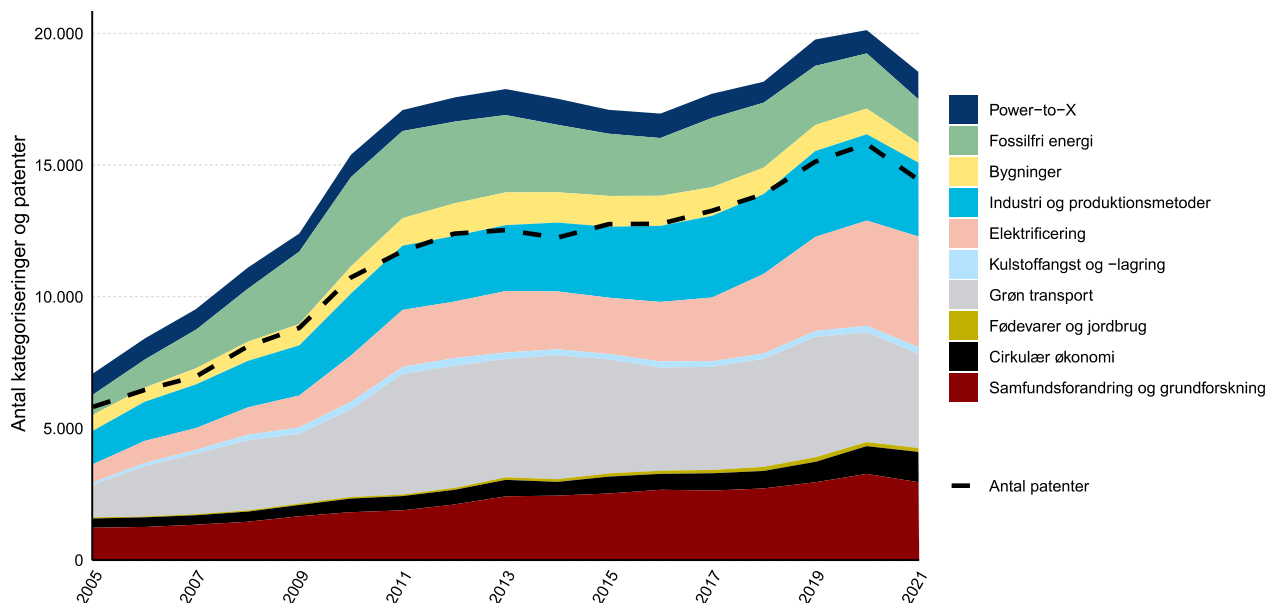
I denne indikator bruges patentdata til at belyse Danmarks innovative specialiseringer på forskellige grønne teknologiområder i sammenligning med andre lande. Datasættet er hentet fra patentdatabasen PATSTAT Online, med hjælp fra Patent- og Varemærkestyrelsen, og består af patenter, som både er ansøgt hos den europæiske patentmyndighed (EPO) og amerikanske patentmyndighed (USPTO) og opgøres som antallet af INPADOC-patentfamilier. Datasættet på tværs af disse to centrale patentmyndigheder er brugt for at mindske hjemmebias i resultaterne, da den første patentering af en teknologi oftest søges på hjemmemarkedet.⁴³ Der kan dog stadig være et mindre bias i resultaterne, i det omfang at virksomheder og opfindere fra henholdsvis USA og EU er mere tilbøjelige til at patentere på tværs af de to markeder end tilsvarende aktører fra andre geografiske områder er til at patentere i de to patentområder.

Antallet af nye klimarelaterede patenter har været stigende siden 2005

Der har været en generel stigning i antallet af årlige klimarelaterede patenter fra 2005 til 2021. Det viser figur 3.8, som opgør patentfamilier efter ansøgningsdato. Stigningen var størst i perioden 2005-2012 og tiltog igen i sidste halvdel af 2010'erne. Et patent kan have flere klimarelaterede kategoriseringer, hvorfor der samlet set er flere kategoriseringer end det samlede antal patenter.

De største kategorier har historisk været inden for grøn transport, elektrificering og fossilfri energi. Der har også været et betydeligt årligt antal patenter inden for bygninger, industri og produktionsmetoder, power-to-X samt samfundsforandring og grundforskning (herunder klimatilpasning). Der har historisk været færrest patenter inden for kulstoffangst og -lagring, fødevarer og jordbrug og cirkulær økonomi, om end der har været en tydeligt stigning i de seneste år inden for cirkulær økonomi.

Figur 3.8 Årligt antal klimarelaterede patenter udtaget samt antallet af klimarelaterede kategoriseringer af patenterne



Anm. 1: De stablede kurver angiver antallet af klimarelaterede patentkategoriseringer. Da et patent kan have flere kategoriseringer, er antallet af patenter lavere end antallet af kategoriseringer. Den stiplede linje viser antallet af unikke patenter med minimum en kategorisering.

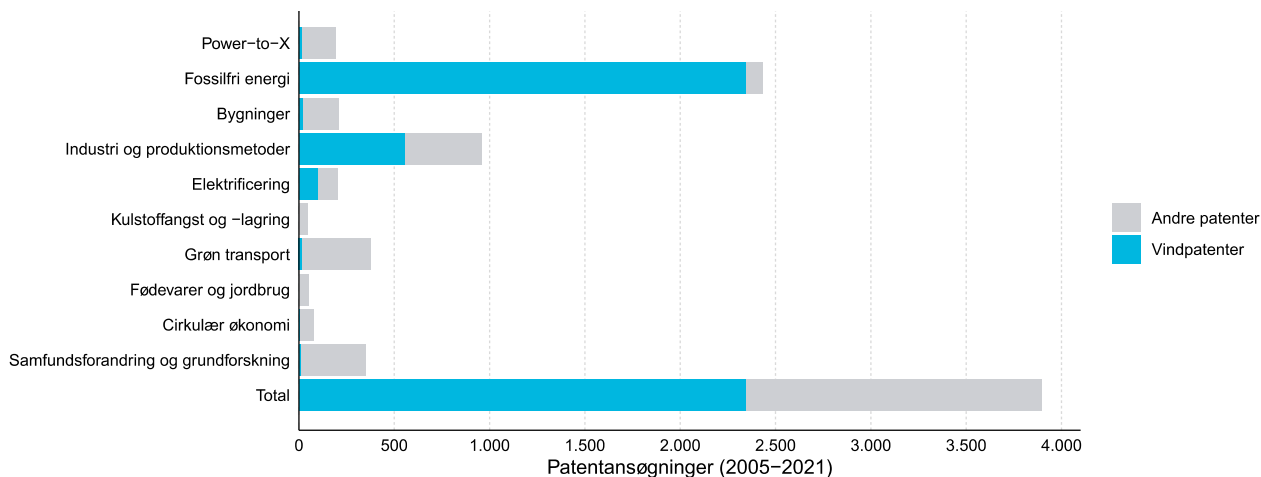
Kilder: Patent- og Varemærkestyrelsen på baggrund af patentdata fra European Patent Office og Klimarådet.

Mere end halvdelen af Danmarks klimarelaterede patenter vedrører vindenergiteknologi

Danmarks historiske specialisering inden for vindteknologi fremgår tydeligt af resultaterne, hvor mere end halvdelen af de cirka 4000 danske klimarelaterede patenter ansøgt i perioden 2005-2021 er relateret til vindteknologi. Vindenergiteknologi udgør næsten samtlige patenter inden for fossilfri energi.

Det totale antal danske patenter er fordelt på de ti hovedkategorier med markering af andelen af vindrelaterede patenter i hver kategori i figur 3.9. Figuren viser desuden, at over halvdelen af patenterne inden for industri og produktionsmetoder, som er kategorien med næstflest patenter, også er knyttet til produktionen af vindmøller. Næsten halvdelen af patenterne inden for elektrificering er også relateret til vindenergi.

Figur 3.9: Danmarks klimarelaterede patenter fra perioden 2005-2021



Anm.: Antallet af patentansøgninger er opgjort som antallet af danskejede INPADOC-familier, der både fremgår af den europæiske patentmyndighed (EPO) og den amerikanske patentmyndighed (USPTO).

Kilder: Patent- og Varemærkestyrelsen på baggrund af patentdata fra European Patent Office og Klimarådet.

Danmark har også patenter inden for biobrændstoffer, kemiske katalysatorer, energieffektivisering, og sundhedsrelateret klimatilpasning

Hvis der ses bort fra patenter relateret til vindteknologi, er de resterende danske klimarelaterede patenter især fordelt mellem hovedkategorierne grøn transport, industri og produktionsmetoder, bygninger, og samfundsforandring og grundforskning. Hver af disse kategorier indeholder cirka 300-450 patenter. Power-to-X og elektrificering følger på et lidt lavere niveau med omkring 200 patenter hver i perioden. Der er færrest patenter inden for kulstoffangst og -lagring, fødevarer og jordbrug, og cirkulær økonomi, hvilket også er tilfældet på globalt plan.

Patenterne i kategorien grøn transport relaterer sig især til biobrændstoffer. I kategorien industri og produktionsmetoder er der især mange patenter relateret til effektivisering af industrielle katalysatorprocesser foruden den store andel af vindenergirelaterede patenter. I bygninger er der mange teknologier vedrørende styring og kontrol af varmen indendørs. Endelig er en stor andel af patenterne i kategorien samfundsforandring og grundforskning relateret til klimatilpasning vedrørende menneskelig sundhed (fx vektorbårne sygdomme forstærket af ekstremt vejr). Patentkategorierne, hvor Danmark har flest patentfamilier i perioden 2005-2021, fremgår af tabel 3.1.

Tabel 3.1 Oversigt over klimarelaterede patentkategorier, hvor Danmark har flest patentfamilier (2005-2021)

Patent-kategori	Hovedkategori	Underkategori	Beskrivelse	Antal patentfamilier (2005-2021)
Y02E 10/72	Fossilfri energi	Vind	Vindmøller med rotationsakse i vindretningen	2266
Y02P 70/50	Industri og produktionsmetoder	Andet	Fremstillings- eller produktionsprocesser karakteriseret ved det endelige fremstillede produkt	636
Y02E 10/728	Fossilfri energi	Vind	Vindmøller på land	279
Y02E 50/10	Grøn transport	Biobrændstoffer	Biobrændstoffer, f.eks. biodiesel	276
Y02E 10/76	Fossilfri energi	Vind	Strømkonvertering, elektriske eller elektroniske aspekter	200
Y02A 50/30	Samfundsforandring og grundforskning	Klimatilpasning	Mod vektorbårne sygdomme eller vandbårne sygdomme, hvis indvirkning forværres af klimaforandringer	139
Y02E 60/50	Power-to-X	Andet	Brændselsceller	120
Y02E 10/727	Fossilfri energi	Vind	Havvindmøller	102
Y02P 20/52	Industri og produktionsmetoder	Industri og produktionsmetoder	Forbedringer vedrørende produktion af bulk-kemikalier ved brug af katalysatorer, fx selektive katalysatorer	95
Y02E 50/30	Grøn transport	Biobrændstoffer	Brændstof fra affald, fx syntetisk alkohol eller diesel	74

Anm. 1: Patentkategorierne er CPC-kategorier (Cooperative Patent Classification), som administreres sammen af patentkontorerne i EU og USA. Y02-kategorierne bruges til at klassificere klimarelaterede patenter.

Anm. 2: Der er overlap mellem patenterne, som indgår i optællingerne i tabellen. Det skyldes, for det første, at det samme patent kan have flere kategoriseringer. Eksempelvis viser analysen, at en stor andel af patenterne inden for industri og produktionsmetoder er relaterede til vindenergi. For det andet, indgår der to underkategorier om landvind og havvind (markeret med kursiv) som er delmængder af den overordnede vindmøllekategori: *Vindmøller med rotationsakse i vindretningen*.

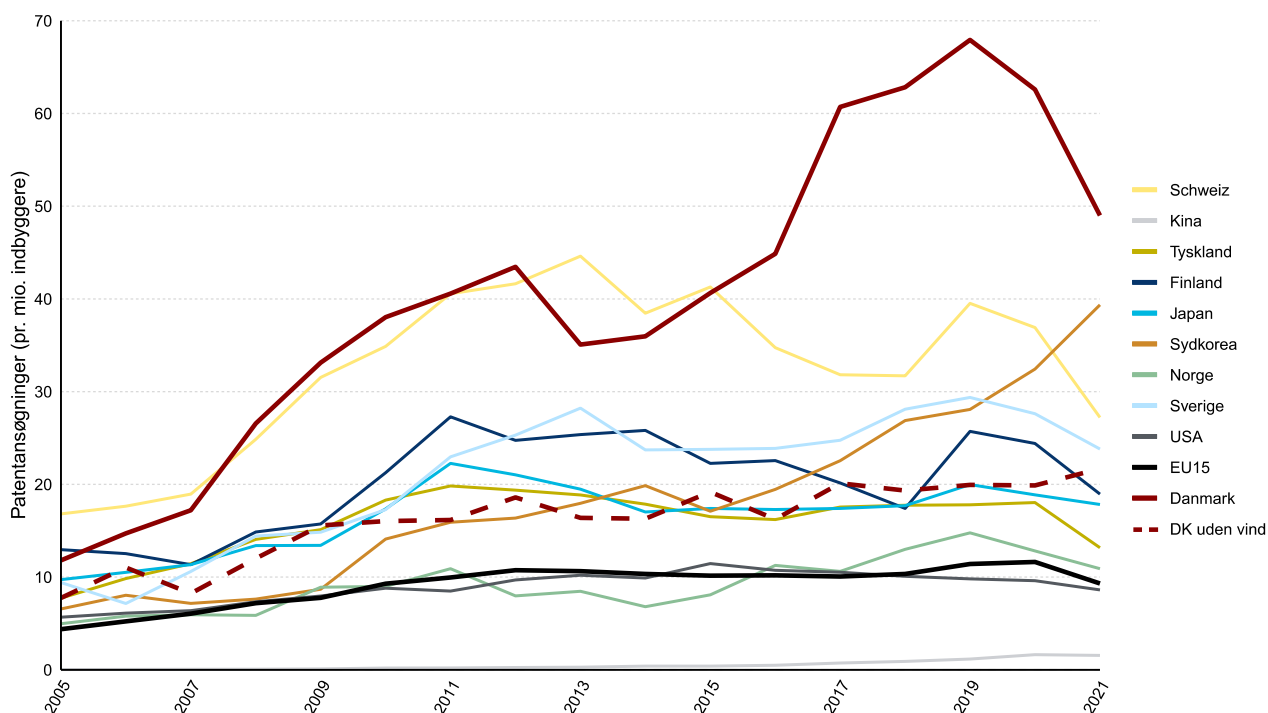
Kilde: Klimarådet på baggrund af data fra Patent og Varemærkestyrelsen og European Patent Office.

Danmark er jævnbyrdig med flere andre velstående lande, hvis man ser bort fra vindenergiteknologi

Figur 3.10 viser udvalgte landes patentering over tid opgjort relativt til befolkningsstørrelse. Overordnet ses en opadgående tendens i antallet af nye klimarelaterede patenter på tværs af lande, men Danmark skiller sig mærkbart ud som landet med klart flest årlige patenter. Frem til 2015 havde Schweiz et tilsvarende højt niveau relativt til resten af landene, men herefter har Danmark alene været det mest patenterende land relativt til befolkningsstørrelse. Sydkorea har en hastig vækst, og det samme har Kina selvom det stadig er småt relativt til det store storebefolkningstal.

Figuren viser også, at Danmarks førerposition i høj grad kan tilskrives Danmarks specialisering inden for vindenergiteknologi. Den stiplede blå linje i figuren viser Danmarks antal af klimarelaterede patenter fratrukket patenter inden for vindenergi. Hvis man ser bort fra vindenergipatenterne, er der fortsat en stigning i danske klimarelaterede patenter fra 2005-2012, hvorefter cirka 20 ud af Danmarks 50 klimarelaterede patenter pr. million indbyggere kunne tilskrives andre områder end vindenergi. Figuren viser også, at Danmark stadig er jævnbyrdig med flere andre velstående lande, hvis man ser bort fra patenter inden for vindenergiteknologi.

Figur 3.10 Antal klimarelaterede patenter pr. mio. indbyggere for udvalgte lande



Anm. 1: EU15 angiver et gennemsnit for landene: Tyskland, Frankrig, Italien, Holland, Belgien, Luxembourg, Danmark, Irland, Storbritannien, Grækenland, Spanien, Portugal, Østrig, Finland, Sverige.

Anm. 2: Patenter fremgår i det år, hvor de er blevet ansøgt ved den europæiske patentmyndighed, EPO. Der er oftest en tidsforskydning mellem ansøgnings- og offentliggørelses tidspunkt på 18 måneder, men længden af denne forsinkelse kan dog variere.⁴⁴ Af denne grund er der også kun fuld data til og med år 2021, hvorfor tidsserien stopper her.

Anm. 3: Serien *DK uden vind* viser udviklingen i antallet af klimarelaterede patenter i Danmark, når der ses bort fra vindpatenter.

Kilder: Patent- og Varemærkestyrelsen på baggrund af patentdata fra European Patent Office, FN⁴⁵ og Klimarådet.

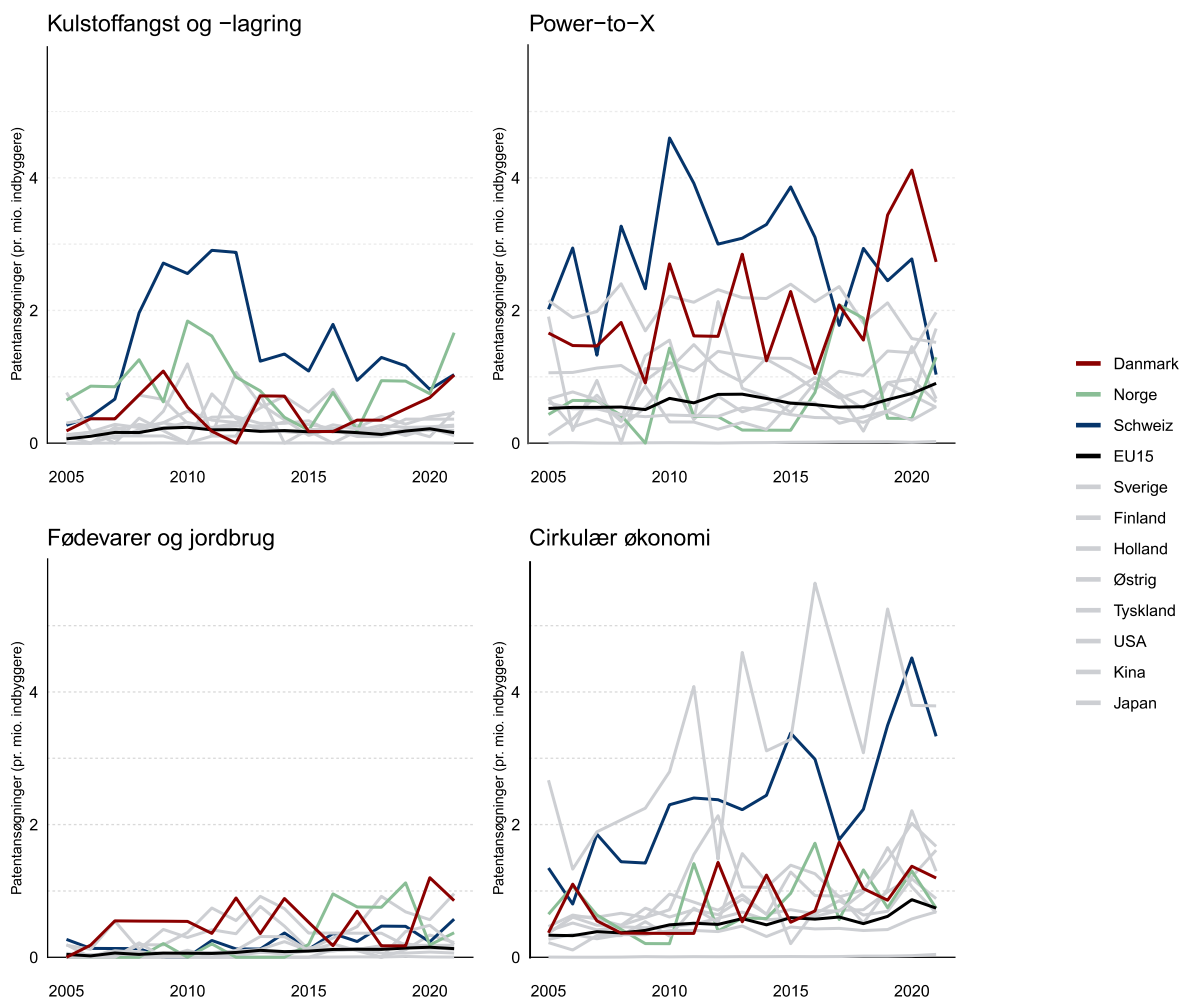
Blandt de grønne forskningsmissioner har Danmark en relativ specialisering inden for power-to-X

Hvis man kigger på udviklingen over tid for patenter inden for de fire områder, regeringen har satset på med sine grønne forskningsmissioner, er Danmarks forudsætninger ikke lige så stærke som inden for vindenergi (se baggrundsrapporten for grafer over yderligere områder). Dette fremgår af figur 3.11, hvor udviklingen i antal patenter pr. mio. indbyggere knyttet til hver af de fire forskningsmissioner er vist for perioden 2005 til 2021.

Danmark har overordnet et højere antal patenter end EU15-gennemsnittet inden for alle fire teknologiområder, men der er variation mellem områderne. Power-to-X skiller sig ud, ved at Danmark både har haft et større antal patenter samt et bedre relativt niveau sammenlignet med de udvalgte lande, særligt i de seneste år hvor Danmark har opnået flest patenter pr. indbygger. Inden for kulstoffangst og -lagring har Danmark generelt været over eller på niveau med EU15-gennemsnittet, men under Norge og Schweiz. Der har i de seneste år været en opadgående tendens mod at nå de to førende landes niveau for de seneste to år på cirka 1 patent pr. mio. indbyggere om året.

Danmark har ligget relativt højt inden for fødevarer og jordbrug, men der er tale om en branche med få patenter. Inden for cirkulær økonomi har Danmark været på et middelhøjt niveau sammenlignet med de fleste af de udvalgte lande.

Figur 3.11 Klimarelaterede patenter pr. mio. indbyggere relateret til de fire forskningsmissioner



Anm.: Underkategorien cirkulær økonomi dækker ikke kun cirkulær økonomi inden for plast og tekstil, som regeringens forskningsmission fokuserer på. Derfor forholder kategorien sig ikke specifikt til forskningsmissionen, men mere generelt til patenter inden for cirkulær økonomi.

Kilder: Patent- og Varemærkestyrelsen på baggrund af patentdata fra European Patent Office og Klimarådet.

3.4. Indikator 3: Klimarelateret vareeksport

Det er relevant at belyse Danmarks klimarelaterede vareeksport, fordi der kan være synergier mellem produktion og teknologiudvikling. Blandt andet kan erfaringer fra produktionen kan give anledning til nye udviklingsaktiviteter, og teknologier under udvikling kan med fordel designes til at passe med de praktiske forhold i produktionen. Den danske branche for vindenergiteknologi har fx opnået succes ved at samarbejde med universiteter om test- og udviklingsfaciliteter tæt på dele af produktionen.⁴⁶ Tilstedeværelsen af relevante produktionsmæssige kompetencer kan derfor gøre det nemmere at omsætte viden til produkter, som kan udbredes og have en positiv klimaeffekt.

I analysen er der fokus på niveauet for den samlede klimarelaterede eksport, sammensætningen af eksporten, Danmarks relative specialiseringer inden for de klimarelaterede varegrupper og endeligt på den mulige tilstedeværelse af kompetencer blandt Danmarks generelle specialiseringer inden for eksport med relevans for produktion af klimarelaterede varegrupper.

Regeringens detaljerede opgørelse af grøn eksport kan ikke bruges til international sammenligning

Regeringen har en årlig opgørelse af Danmarks grønne eksport i sin globale afrapportering. Her opgøres Danmarks grønne eksport så detaljeret som muligt, blandt andet ved at anvende kategorier som er mere detaljerede, end dem man bruger uden for EU, og ved at vægte EU's varekoder på baggrund af detaljeret viden om Danmarks eksport inden for kategorierne. Opgørelsen er derfor mere præcis, men kan ikke sammenlignes med andre lande, da vægtene er unikke for Danmark.

I denne analyse anvendes i stedet global handelsdata fra FN's COMTRADE database⁴⁷, der indeholder samlede eksportdata for cirka 170 af verdens lande fra 2013-2022. Handelsdata er opdelt i cirka 5.600 varegrupper i det harmoniserede varebeskrivelses- og varenomenklatursystem (HS)⁴⁸.

Den grønne vareliste er afgørende for resultaterne

Kategoriseringen af varegrupper som klimarelaterede er væsentlig for resultaterne. For at kunne undersøge klimaorienteret eksport har Klimarådet i denne analyse udviklet en liste over varegrupper, der bidrager til at reducere drivhusgasudledninger. Listen er udviklet med udgangspunkt i lignende grønne lister fra en række organisationer, analyser og forskningsartikler fra blandt andet OECD⁴⁹, WTO⁵⁰, APEC⁵¹, forskere ved Oxford Universitet⁵², tænketanken IPPR⁵³, Eurostat⁵⁴ og listen bag den danske regerings opgørelse⁵⁵.

Kategoriseringen har resulteret i en liste med 132 klimarelaterede varegrupper ud af datamaterialets cirka 5.600 varegrupper. Denne liste består primært af produkter, der optræder på de grønne varelister, og af enkelte varegrupper, som Klimarådet vurderer bør inkluderes, særligt i relation til mere klimarelateret fødevareproduktion. Der er desuden udviklet en bredere bruttoliste med 70 yderligere varer, som kan være klimarelaterede, men som også anvendes til andre formål, hvilket kan bruges til følsomhedsanalyser. Se baggrundsrapporten for flere detaljer om varelisten og følsomhedsanalyserne, der generelt resulterer i det samme billede for Danmark.

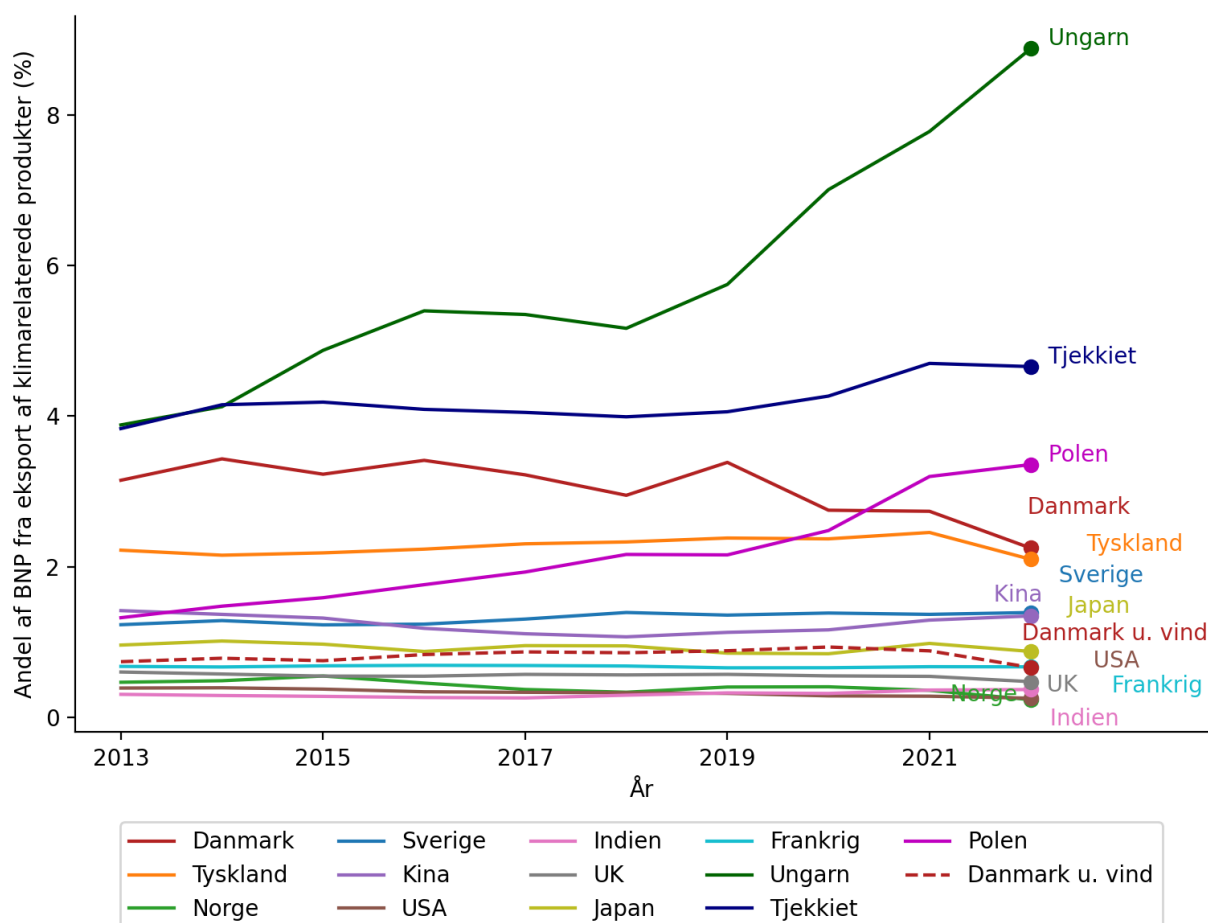
Danmarks klimarelaterede eksport er blandt de relativt største på grund af vindteknologi

Danmark er internationalt kendt for at have en grøn eksportsektor. Figur 3.12 viser, at Danmark har en høj eksport af klimaorienteret teknologi relativt til økonomiens størrelse. Eksporten har fra 2013-2019 ligget på omkring 3 pct. af BNP. Sidenhen har den klimarelaterede eksport været relativt stabil, mens BNP er vokset, blandt andet på grund af stigningen i eksporten af medicinalprodukter og transportydelser, hvorfor den klimarelaterede andel er faldet til cirka 2,2 pct.⁵⁶

Dermed er Danmark omtrent på niveau med Tyskland, men under Polen, Tjekkiet og Ungarn, hvor den klimarelaterede eksport er forøget de seneste år og udgør mellem 3-9 pct. af BNP. Stigningen i disse lande er især relateret til batterier og sekundært varer til udbygning og kontrol af elektriske systemer og katalysatorer.

Danmark ligger et niveau over resten af de udvalgte lande i sammenligningen, hvor eksport af klimarelaterede varer udgør mellem 0,3 pct. og 1,5 pct. af BNP. Danmark skiller sig altså fortsat ud ved sin store klimarelaterede eksport relativt til økonomiens størrelse, men i mindre grad end tidligere i perioden.

Figur 3.12 Klimarelateret vareeksport som andel af BNP for udvalgte lande



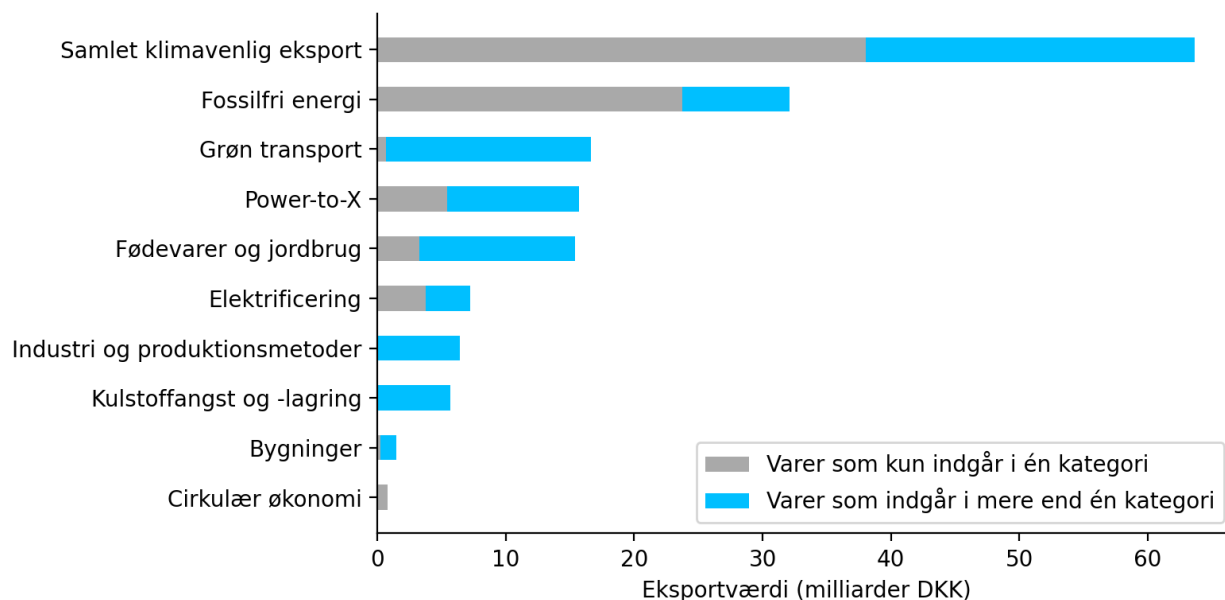
Kilder: FN Comtrade, Danmarks Statistik og Klimarådet.

Figur 3.12 og 3.13 viser, at det især er Danmarks producenter af vindenergiteknologi der gør, at Danmark er en førende eksportør af klimarelateret teknologi. Hvis man ser bort fra disse cirka 30 mia. kr. i eksport, falder Danmarks placering til midten af den forømtalte restgruppe af udvalgte lande. Næste efter vindenergiteknologi har Danmark størst eksport relateret til grøn transport, power-to-X samt fødevarer og jordbrug med cirka 15 mia. kr. hver. Herefter følger elektrificering, industri og produktionsmetoder og kulstoffangst og -lagring med cirka 6-8 mia. kr. Danmark har mindst eksport inden for kategorierne bygninger og cirkulær økonomi. Den lave eksport i kategorien bygninger kan skyldes, at FN's handelsdatabase muligvis undervurderer dansk eksport inden for stenuld og lignende isolerende materialer. Se baggrundsrapporten for en belysning heraf.

Det kan bemærkes, at en stor andel af varerne i de øvrige kategorier end i fossilfri energi er relaterede til flere end én kategori, hvilket betyder, at eksporten mindre entydigt afspejler styrker på disse områder. Det kan relateres sig til mere generelle varegrupper, som er vigtige for, at de mere unikke teknologier inden for hver kategori kan fungere. Det kan eksempelvis være rør og pumpe-teknologi, som skal bruges i power-to-X-anlæg, men også bruges på andre områder, mens elektrolyseapparater er unikke for power-to-X-kategorien. Det kan også skyldes, at varegrupperne i datamaterialet er så

bredt definerede, at der ikke kan sondres mellem delmængder af produkter, som er unikke for området eller mere bredt anvendelige.

Figur 3.13 Danmarks klimarelaterede eksport i 2022 opdelt på ni af hovedkategorierne



Anm. 1: Eksporten under hovedkategorierne summer til mere end den samlede klimarelaterede eksport, da visse varegrupper kategoriseres under flere hovedkategorier og dermed dobbelttælles. Andelen af den samlede eksport, der stammer fra varekoder, der kategoriseres inden for mere end én hovedkategori, og dermed tælles flere gange på tværs af hovedkategorierne, er markeret med blå. De grå søjler ved hovedkategorierne summer til den grå søjle ved den samlede klimarelaterede eksport. Disse varegrupper vil typisk være mindre specifikt knyttet til aktiviteter i den pågældende kategori.

Anm. 2.: Eksporten inden for kategorien bygninger kan være undervurderet, da der kan være problemer med den danske opgørelse inden for stenuld og lignende, se baggrundsrapporten. Derudover kan eksporten være lav, fordi eksporten i datamaterialet er opgjort efter princippet i handelsbalancen og inkluderer dermed kun varer, som krydser grænsen.⁵⁷ Danske virksomheders produktion i udlandet indgår derfor i de andre landes opgørelser, såfremt varerne eksporteres. Hvis virksomheder relateret til bygninger har betydelige produktionsaktiviteter i udlandet, som forsyner det udenlandske marked frem for at eksportere fra Danmark, kan det bidrage til den lave opgørelse.

Kilder: FN Comtrade og Klimarådet.

Eksportmæssige specialiseringer kan identificeres ved at sammenligne varernes andel af eksporten

Man kan anvende mønstrene i de globale handelsdata til at vurdere eksportmæssige specialiseringer.⁵⁸ Metoderne er udviklet inden for kompleksitetsøkonomi på Harvard University og Oxford University og består i at beregne, hvilke varer som udgør en større andel af et lands eksport end af den globale eksport. Resultatet kan fortolkes som en såkaldt afsløret komparativ fordel (*revealed comparative advantage*, forkortet RCA), se også boks 3.1.

En RCA-værdi over 1 betyder, at en vare udgør en større andel af det pågældende lands eksport, end varen udgør af verdenshandlen. I denne analyse betegnes RCA-værdier mellem 1-5 som en *specialisering* og over 5 som en *høj grad af specialisering*.

Boks 3.1 Metode til at identificere specialiseringer

Analysen af grønne eksportmæssige specialiseringer følger metoden udviklet af økonomerne Mealy og Teytelboym fra Oxford University⁵⁹ på baggrund af litteraturen om økonomisk kompleksitet, der blandt andet er udviklet på Harvard University's Growth Lab.⁶⁰ Denne metode vurderer, om et land, *c*, har en specialisering inden for eksporten af en specifik varegruppe, *p*, ved at beregne landets *Revealed Comparative Advantage* (RCA) for denne varegruppe.

RCA måler, om en varegruppe udgør en større del af et lands eksport, end varegruppen gennemsnitligt gør i den globale handel. RCA indikerer dermed, om varegruppen er vigtigere for et lands eksport, end for verdenshandelen som helhed. En RCA-værdi over 1 betyder, at den pågældende vare udgør en større andel af det pågældende lands eksport, end varen udgør af verdenshandlen.

For at beregne RCA anvendes en matrice, *x*, som indeholder handelsdata for alle lande fordelt på omkring 5.600 forskellige varegrupper. RCA beregnes med følgende formel:

$$RCA_{cp} = \frac{x_{cp} / \sum_p x_{cp}}{\sum_c x_{cp} / \sum_c \sum_p x_{cp}}$$

hvor *x_{cp}* er eksporten af varegruppe *p* fra land *c*.

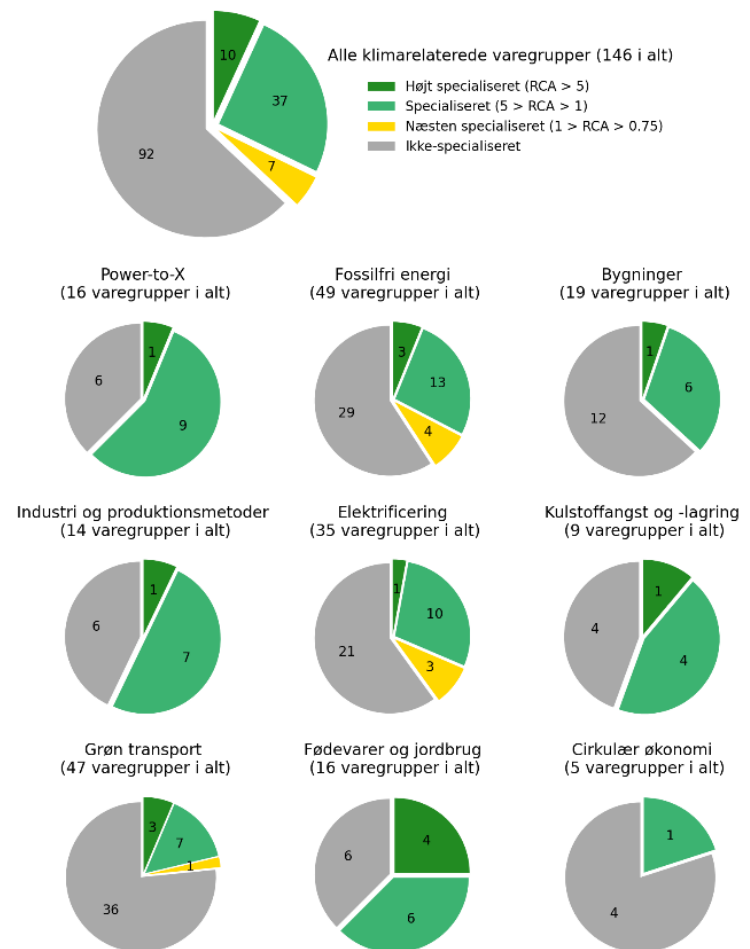
Danmark har klimarelaterede specialiseringer inden for samtlige kategorier

Beregninger på den internationale handelsdata viser, at Danmark er specialiseret inden for 36 klimarelaterede varegrupper og højt specialiseret inden for ti varegrupper. Som illustreret i figur 3.14 betegnes specialiseringer her som varegrupper, hvor Danmarks RCA-værdi er højere end 1. Ved høje specialiseringer er varens RCA-værdien over 5. Se også tabel 3.2 samt baggrundsrapporten for flere detaljer.

Der er specialiseringer i alle de ni hovedkategorier, som er relevante for vareeksporten, men specialiseringernes antal, andele og styrker varierer.

Danmark er højt specialiseret inden for fire varegrupper inden for fødevarer og jordbrug, og tre varegrupper i både fossilfri energi og grøn transport. Den underliggende data viser, at Danmarks største enkeltstående specialisering er vindmølle turbiner, som har en RCA-værdi på cirka 46 i 2022. Vindmølle turbiner udgør dermed en 46 gange større andel af Danmarks eksport end varens andel af verdenshandlen.

Figur 3.14 Danske specialiseringer inden for klimarelateret vareeksport



Anm.: RCA: *Revealed comparative advantage* eller *afslørede komparative fordele*. RCA-værdier er beregnet på baggrund af FN's COMTRADE-database, jf. boks 3.1. Fremstilling efter inspiration fra IPPR.

Kilder: FN Comtrade og Klimarådet.

Danmark har styrker inden for en større andel af varerne i power-to-X, kulstoffangst, industri og fødevarer

Danmark har den største andel af specialiseringer inden for power-to-X, CCS, industri og produktionsmetoder samt fødevarer og jordbrug. Det viser figur 3.15. Disse fire hovedkategorier har dog relativt få varegrupper, hvorfor der også er et betydeligt antal specialiseringer i hovedgrupperne fossilfri energi, elektrificering og grøn transport, hvor Danmarks andele med specialiseringer dog er mindre.

Desuden er det værd at bemærke, at Danmark ikke er specialiseret i nogle af de varegrupper, som er mere specifikt knyttet til power-to-X, som eksempelvis elektrolyseapparater og ionbytningsmembraner, men i højere grad varegrupper som overlapper med andre kategorier.

Tabel 3.2 De ti klimarelaterede varegrupper, hvor Danmark er højt specialiseret (RCA>5)

Varekode	Hovedkategorier	Varebeskrivelse	RCA-værdi	Land med højeste RCA-værdi	Dansk eksport 2022 (mia. kr.)
850231	Fossilfri energi	Vinddrevne elgeneratorer	45,5	Danmark	9,80
350790	Grøn transport, Fødevarer og jordbrug	Enzymer (foruden osteløbe)	34,5	Danmark	10,00
381511	Power-to-X, Industri, Kulstoffangst og -lagring, Grøn transport	Nikkelbaserede katalysatorer og reaktionsstartere	22,5	Danmark	1,34
841290	Fossilfri energi	Reservedele til motorer	22,2	Danmark	7,69
350400	Fødevarer og jordbrug	Koncentrerede mælkeproteiner og skindpulver	14,9	Danmark	3,06
843710	Fødevarer og jordbrug	Maskiner til at rense og sortere tørret korn og bælgfrugter	7,7	Danmark	0,22
110610	Fødevarer og jordbrug	Mel og pulver af tørrede bælgfrugter	7,6	Indien (RCA: 26,2)	0,09
903032	Elektrificering	Multimetre	6,4	Danmark	0,12
840590	Bygninger	Dele til luftgas- og vandgasgeneratorer og lignende	6,2	Kirgisistan (RCA: 32,4)	0,04
843790	Fødevarer og jordbrug	Maskindele til maskiner, der renser, sorterer, og forarbejder tørret korn og bælgfrugter	5,6	Danmark	0,16

Danske specialiseringer på øvrige områder kan også skabe forudsætninger for klimarelateret eksport

I de forrige afsnit har der været fokus på Danmarks produktion af klimarelaterede varer i kontekst af den internationale konkurrence. Hvis man vil vide noget om Danmarks forudsætninger for at producere klimarelaterede varer i fremtiden, er det dog ikke tilstrækkeligt kun at belyse Danmarks klimarelaterede produktion og eksport. Man må også undersøge, om de produktionsmæssige kompetencer, som i dag anvendes til at producere andet end klimarelaterede varer, også kunne give gode forudsætninger for at producere nye typer af klimarelaterede varer i fremtiden. Det kan fx være, hvis en styrke inden for præcisionsfermentering af insulin kan stille Danmark godt i relation til at præcisionsfermentere mælk i fremtiden.

De forskellige grader af overlap mellem de relevante kompetencer for de klimarelaterede varegrupper og Danmarks eksportspecialiseringer på tværs af hele økonomien kan også belyses ved hjælp af mønstre i handelsdata. Hvis to varegrupper typisk eksporteres sammen på globalt plan, kan det indikere, at de i en vis udstrækning trækker på de samme underliggende kompetencer.

Det vil sige, at hvis varerne som Danmark er specialiseret i at producere typisk eksporteres sammen med de klimarelaterede varer på globalt plan, kan det sandsynliggøres, at den danske økonomi besidder nogle af de relevante kompetencer, som det kræver at producere de pågældende klimarelaterede varer konkurrencedygtigt. Med udgangspunkt i hvor meget varerne eksporteres sammen, kan der beregnes et mål for, hvor relaterede produkterne er til hinanden, se boks 3.2.

Der vil dog uvægerligt være udfordringer med at matche relevante kompetencer for mindre modne og udbredte teknologier. For de mindre modne teknologier kan der være større risiko for, at tilfældigheder påvirker de statistiske sammenhænge, da der typisk vil være tale om relativt små eksportsummer. Politiske indsatser, herunder fra innovations- og industripolitik, kan også medføre, at tidlig produktion i umodne teknologier opstår, på trods af at der er få relevante kompetencer til stede.

Boks 3.2 Indikationer på tilstedeværelse af relevante kompetencer for produktion af klimarelaterede varer

Litteraturen om grøn økonomisk kompleksitet peger på, at man ikke blot skal se på produktion og eksport af klimarelaterede varer, hvis man vil få en indikation af et lands besiddelse af relevante kompetencer inden for produktion af klimarelaterede varer. Nogle klimarelaterede varer vil teknisk have mere til fælles med produktion af varer, som ikke kan siges at være specielt klimarelaterede.

For at inddrage relevant viden om relevante kompetencer, som er til stede ved produktion af ikke-klimarelaterede varegrupper, kan man undersøge, i hvor høj grad et lands eksportstyrker typisk eksporteres sammen med klimarelaterede varer i verdenshandlen. To varer, som oftere eksporteres sammen, betegnes i litteraturen som *nærmere* hinanden ('proximity'). Mere specifikt, kan man bruge de varegrupper, som et land er specialiseret inden for (defineret ved $RCA > 1$, jf. boks 3.1), og undersøge om disse varegrupper har tendens til at forekomme med andre specialiseringer i verdenshandlen. Det undersøges altså, om visse specialiseringer har tendens til at forekomme i par, når man ser på tværs af lande, jf. baggrundsrapporten.

Indikatoren for et lands relevante produktionsmæssige kompetencer beregnes med et indeks for, hvor *nære* samtlige af et lands eksportspecialiseringer er til en given klimarelateret varegruppe eller en samling heraf. Dette indeks kaldes i litteraturen for *tætheden* af de relaterede varer ('density') og kan indikere et lands grad af relevante produktionsmæssige kompetencer til at producere en given varegruppe. Det beregner den gennemsnitlige nærhed mellem en klimavenligt varegruppe j og alle varegrupper som landet er specialiseret i, betegnet med i .

$$\omega_{cj} = \frac{\sum_i M_{ci} \phi_{ij}}{\sum_i \phi_{ij}}$$

Hvor:

ϕ_{ij} = *nærhed* mellem to varer. Nærheden beregnes som sandsynligheden for, at et tilfældigt trukket land med en specialisering inden for varegruppen i også har en specialisering inden for en klimarelateret vare j .

M_{ci} = en matrice med binære variable (1/0) for, om et land c har en specialisering ($RCA > 1$) inden for en varegruppe i eller ej.

En højere værdi vil indikere, at et land har flere specialiseringer i varegrupper, som har tendens til at blive eksporteret sammen med en given klimarelateret varegruppe. Det kan altså indikere, at økonomien har gode kompetencemæssige forudsætninger for at producere den pågældende klimarelaterede vare. Der kan dog være mange andre årsager end tilstedeværelsen af relevante kompetencer, som afgør, om en økonomi kommer til at producere den pågældende vare.

I figur 3.15 belyses Danmarks relevante kompetencer for de ni ud af ti hovedkategorier, som er relevante for vareeksporten. Figuren fremhæver forskellene mellem de ni kategorier ved at vise, hvor langt hver kategori er fra gennemsnittet for de ni kategorier. Denne standardisering er forklaret i figurens anmærkning. Kategorierne med en positiv værdi korrelerer altså mere med Danmarks eksisterende eksportspecialiseringer, inklusive for varegrupper som ikke er på listen over klimarelaterede varegrupper.

Danmark kan have flere relevante kompetencer inden for fødevarer, cirkulær økonomi, industri, power-to-X og bygninger.

Danmarks specialiseringer på tværs af hele økonomien har forskellige kompetencebehov til fælles med de klimarelaterede varer.

I figur 3.15 kan man få en indikation af, hvilke klimarelaterede varegrupper som oftere på globalt plan eksporteres sammen med varer, hvor Danmark er specialiseret (RCA>1). Værdierne er normaliseret, så forskellene mellem områderne lettere kan identificeres. Positive værdier indikerer, at varerne i den pågældende kategori i gennemsnit har mere til fælles med kompetencerne i dansk økonomi, end gennemsnittet af de grønne varegrupper har. De underliggende indekseværdier kan læses i baggrundsrapporten.

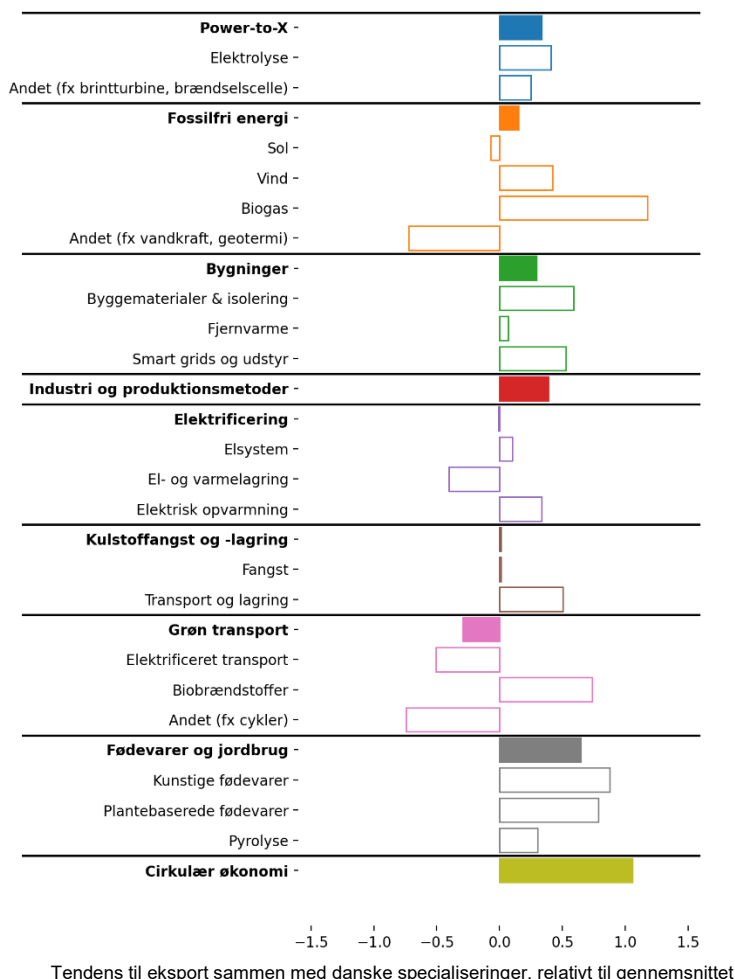
Blandt hovedkategorierne (de fuldt farvelagte søjler) indikeres det, at Danmark kan have flest af de kompetencer, som er relevante inden for cirkulær økonomi og fødevarer og jordbrug, om end disse kategorier indeholder relativt få varegrupper. Blandt kategorierne med flere varegrupper, indikerer resultaterne, at Danmark også har flere relevante kompetencer inden for industri og produktionsmetoder, power-to-X, bygninger og fossilfri energi.

Resultaterne indikerer desuden, at Danmark har færre relevante kompetencer inden for grøn transport, som inkluderer mange varegrupper, mens elektrificering og kulstoffangst og lagring fremstår gennemsnitligt.

Inden for underkategorierne (de farvede omrids) kan der også identificeres områder, hvor Danmark kan have bedre forudsætninger for at producere i fremtiden. Det drejer sig om biogas, kunstige og plantebaserede fødevarer, biobrændstoffer, byggematerialer og isolering, smart grids og udstyr, transport og lagring af kulstof, elektrolyse og andet power-to-X, vindenergi, elektrisk opvarmning og pyrolyse.

Som nævnt i boks 3.2 er disse indikationer på relevante kompetencer ikke ensbetydende med, at Danmark vil producere mere inden for de pågældende varegrupper i fremtiden, da mange andre faktorer vil have indflydelse på produktionsbeslutninger.

Figur 3.15: Klimarelaterede områder, hvor de eksisterende danske eksportstyrker kan have flest relevante kompetencer



Anm. 1: Figuren viser, hvilke klimarelaterede varer fordelt på hovedgrupper (farvelagt) og undergrupper (farvet omrids) som oftere eksporteres sammen med de danske eksportstyrker (RCA>1), også inden for varer som ikke er klimarelaterede, på globalt plan.

Anm. 2: For at tydeliggøre forskellene mellem kategoriernes korrelation med varer fra de danske eksportspecialiseringer, er resultaterne normaliseret således, at gennemsnittet af kategoriernes værdi er nul. Værdien 1 svarer til en enkelt standardafvigelse fra den gennemsnitlige korrelation mellem varer inden for de danske specialiseringer og de klimarelaterede varer på globalt plan. En positiv værdi indikerer, at Danmark kan have bedre forudsætninger for at producere varerne i den pågældende kategori på grund af en større tilstedeværelse af de kompetencer, der er relevante.

Anm. 3: Der er begrænset produktion og handel inden for kunstige fødevarer og resultaterne er derfor særligt usikre for denne underkategori. Klimarådet har forsøgt at identificere de varekategorier, som disse typer af fødevarer hører til.

4. Opsamling og nye spørgsmål

I dette afsnit vurderes først de danske forudsætninger for at bidrage til klimaomstillingen gennem forskning og innovation på baggrund af de tre indikatorer. Indikatorerne belyser kun tre forhold af relevans for den grønne forskning og innovation, og derfor kan de følgende konklusioner bidrage til det bredere vidensgrundlag for det kommende arbejde med den grønne forskningsstrategi. Endelig rejser Klimarådet fem væsentlige spørgsmål om udformningen af indsatsen, som regeringen bør overveje i det kommende strategiske arbejde med at fremme grøn forskning og innovation.

4.1. Danske forudsætninger for at bidrage med klimarelaterede løsninger

I dette afsnit opsummeres resultaterne om de danske forudsætninger ved at se på tværs af resultaterne for de tre indikatorer. Formålet er at identificere, hvor Danmark kan have gode forudsætninger for at bidrage til verdens klimarelaterede forskning og innovation. Vurderingerne sammenfattes nedenfor i tabel 4.1.

Vindenergiteknologi har gjort Danmark til et foregangsland inden for klimarelateret teknologiudvikling

Resultaterne i alle tre indikatorer viser, hvorfor udviklingen af vindenergiteknologi kan siges at være kernen af Danmarks klimarelaterede teknologiudvikling og innovation. Vindenergi har historisk placeret Danmark højt relativt til de fleste andre lande inden for fossilfri energi, når man kigger på de offentlige FUD-investeringer relativt til økonomiens størrelse. Disse investeringer har desuden været anseelige opgjort som andel af IEA-landenes investeringer i vindenergi, som vist i figur 3.6. Der har dog været en faldende tendens for Danmarks niveau i løbet af det seneste årti. Når man ser på området for fossilfri energi samlet set, ligger Danmark lavest i den internationale sammenligning, se figur 3.5C.

Patentanalysen viste, at cirka halvdelen af Danmarks klimarelaterede patenter siden år 2005 har været inden for vindenergi. Der er blevet udtaget så mange vindenergipatenter, at Danmark ligger betydeligt over andre lande når man opgør klimarelaterede patenter relativt til indbyggertal. Ser man bort fra vindenergipatenterne, ligger Danmark mere på linje med flere andre velstående lande, men stadig betydeligt over EU15-gennemsnittet.

Inden for den klimarelaterede eksport trækker vindenergiteknologi også Danmark op blandt landene med størst klimarelateret eksport relativt til økonomiens størrelse. Som følge heraf har Danmark en markant international specialisering, når vindenergieksporten opgøres som andel af Danmarks eksport sammenlignet med andelen af verdenshandlen. Ligesom for patenter, fremstår Danmark som et land med et middel niveau af klimarelateret eksport, hvis man ser bort fra vindenergiteknologi.

Vindenergi er dermed fortsat kerneområdet i Danmarks klimarelaterede erhvervsaktiviteter med stærke patent- og eksporttal. Danmark investerer stadig betydelige FUD-midler inden for vindenergi, om end der har været en faldende tendens i Danmarks satsning relativt til udlandet.

Der er ikke tydelige tegn på, at Danmark er på vej til at få en ny specialisering på niveau med vindenergi

Når man ser på tværs af de tre indikatorer, er der ikke tydelige tegn på, at Danmark er på vej til at få en ny specialisering på niveau med vindenergiteknologi, der på samme vis kan øge Danmarks globale bidrag til forskning og innovation. Inden for offentlige FUD-investeringer i energirelaterede teknologier har Danmark således ikke et fremtrædende niveau, som det tidligere var tilfældet. Der er til gengæld kommet større fokus på fødevarer og flere investeringer fra private fonde. Stigningen siden 2010 i Danmarks årlige antal klimarelaterede patenter pr. indbygger skyldes i høj grad vindenergi, mens der for andre teknologiområder er blevet udtaget cirka 20 patenter pr. mio. indbyggere om året, se baggrundsrapporten for en uddybning.

Over tid kan Danmark have gode forudsætninger for at bidrage inden for power-to-X

Resultaterne viser også, at der kan være områder med gode forudsætninger for at opnå betydelige globale bidrag over tid. Tabel 4.1 indeholder sammenfattende vurderinger inden for de ti områder, som kan være vigtige for at nå de langsigtede klimamål.

Power-to-X udviser de tydeligste indikationer på gode forudsætninger inden for de tre indikatorer. Danmark har konsistent haft et højt investeringsniveau med offentlige FUD-midler de seneste 15 år relativt til andre sammenlignelige lande og økonomiernes størrelser, se figur 3.5. I starten af 2010'erne udgjorde Danmarks investeringer også en anseelig andel af IEA-landenes investeringer. Dette kan have givet gode vilkår for at opbygge relevante kompetencer og erfaring på området, som afspejler sig i et relativt højt patenteringsniveau inden for power-to-X-teknologi og med en opadgående tendens i de seneste år, se figur 3.9. Flere andre lande har også forøget FUD-investeringerne inden for power-to-X mere end Danmark i de seneste år.

Analysen af vareeksport indikerer, at Danmark har specialiseringer inden for flere power-to-X-relaterede varegrupper samt relevante kompetencer til at være konkurrencedygtige på området. Det skal bemærkes, at Danmark ikke har en relativ specialisering inden for de to varegrupper, som har mest direkte tilknytning til power-to-X: elektrolyseapparater og ionmembraner. Det trækker ned i vurderingen af de erhvervsmæssige forudsætninger, hvorfor vurderingen af vareeksporten i tabel 4.1 er markeret med gul for at afspejle både de positive og negative indikationer.

Signaturforklaring til tabel 4.1
Danmarks niveau er markant højere end de fleste andre lande med stort BNP pr. indbygger
Danmarks niveau er højere end de fleste andre lande med stort BNP pr. indbygger
Danmarks niveau er jævnbyrdigt relativt til de fleste andre lande med stort BNP pr. indbygger
Danmarks niveau er lavere end de fleste andre lande med stort BNP pr. indbygger

Tabel 4.1 Sammenfatning af Danmarks resultater i indikatorerne relativt til sammenlignelige lande

Kategorier	FUD-investeringer i energiteknologi	Klimarelaterede patenter	Klimarelateret vareeksport
1. Power-to-X			
2. Fossilfri energi			
3. Bygninger			
4. Industri og produktionsmetoder			
5. Elektrificering			
6. Kulstoffangst og -lagring			
7. Grøn transport			
8. Fødevarer og jordbrug			
9. Cirkulær økonomi			
10. Samfundsforandring og grundforskning			
Overordnet niveau	FUD-midler / BNP	Patenter / indbyggere	Eksport / BNP
Overordnet niveau, foruden vindenergiteknologi			

Anm. 1: For FUD vurderes der kun inden for energiteknologiske kategorier. Der er ikke blevet fundet tilfredsstillende international sammenlignelig data for fødevarer og jordbrug og cirkulær økonomi.

Anm. 2: For FUD, patenter og eksport foretages vurderingerne af det overordnede niveau helholdsvis på baggrund af figurerne 3.4, 3.10 og 3.12. For vurderingerne af de enkelte kategorier, foretages vurderingerne af FUD ud fra figurerne 3.5 (samt resultaterne for resten af områderne i baggrundsrapporten), 3.6 og 3.7. Der lægges balanceret vægt på investeringerne i de seneste år og udviklingen i det historiske niveau. For patenter vurderes der ud fra figurer 3.11 samt resultaterne for resten af områderne i baggrundsrapporten. For vareeksporten foretages vurderingen ved at sammenholde resultaterne i samtlige figurer i afsnittet om eksport, med vægt på eksportværdi og antallet og styrker af specialiseringer.

Anm. 3: Den klimarelaterede vareeksport for bygninger kan være undervurderet pga. mulige problemer i datamaterialet vedr. Danmarks eksport af stenuld og lignende materialer til isolering. Baggrundsrapporten uddyber dette.

Der kan også være gode forudsætninger inden for fødevarerproduktion, industri og produktionsmetoder

Tabel 4.1 viser desuden, at Danmark særligt skiller sig ud inden for fødevarer og jordbrug samt industri og produktionsmetoder. Inden for fødevarer og jordbrug kan Danmark have gode forudsætninger inden for produktion og vareeksport, samtidig med at man har relativt mange patenter. Det er dog et område med generelt set få patenter. Det har ikke været muligt at sammenligne Danmarks FUD-investeringer internationalt, men figur 3.3 og 3.5D viser, at staten og private fonde i de seneste år har afsat betydelige midler til området.

Inden for industri- og produktionsmetoder har Danmark mange patenter, særligt på grund af patenter inden for produktion af vindmølleteknologi. Derudover har Danmark især patenter inden for katalysatorer til den kemiske industri.

Danmark har satset sent på kulstoffangst og -lagring

Kulstoffangst og -lagring og cirkulær økonomi er to andre områder, som regeringen har iværksat grønne forskningsmissioner for. Her er der mere blandede indikationer for Danmarks forudsætninger.

På den ene side har Danmark over en længere årrække investeret FUD-midler i power-to-X-området, mens kulstoffangst og -lagring ikke er blevet tildelt betydelige offentlige investeringer før 2021, hvorefter der er blevet investeret store beløb. Området for kulstoffangst og -lagring har altså ikke haft de samme vilkår for at opbygge kompetencer og forskningsstyrker over tid som aktørerne inden for power-to-X.

På den anden side har det kun været Norge, som har satset relativt stort på kulstoffangst og -lagring og over en længere årrække. Danmark har desuden gode geologiske forhold til at lagre kulstof i undergrunden. På trods af den korte FUD-historik, har Danmark forholdsvis mange patenter inden for kulstoffangst og -lagring relativt til befolkningens størrelse, men det dækker dog substantielt set over et lille antal patenter.

Det er svært at opgøre området for cirkulær økonomi

Området cirkulær økonomi har større måleudfordringer end kulstoffangst og -lagring. Der blev ikke fundet internationalt sammenlignelig data for FUD-investeringer, og de relevante løsninger på området, fx nye emballagesystemer, kan være svære at se afspejlet i indikatorer for patenter og vareeksport. Derfor kan det være særligt relevant med supplerende og mere kvalitative undersøgelser på dette område.

Elektrificering, grøn transport, bygninger og adfærdsændringer kan også rumme potentialer

Foruden kategorierne med flere positive vurderinger i tabel 4.1, kan de andre områder også rumme vigtige potentialer for at opnå globale bidrag gennem forskning og innovation. Det gælder eksempelvis elektrificering.

Danmark har investeret relativt mange FUD-midler i underkategorien af teknologier relateret til elektrisk opvarmning, se figur 3.7. Elektricitet udgør cirka 20 pct. af Danmarks energiforbrug og kan forventes at stige markant i de kommende år.⁶¹ Med en stor andel af fluktuerende vedvarende energi i elproduktionen og stigende elektrificering kan Danmark fortsat være et vigtigt land ved at demonstrere, hvordan fremtidens globale energisystemer bedst kan fungere, særligt hvis afbrændingen af biomasse mindskes.

Inden for grøn transport ser Danmark ikke ud til at have betydelig del i den globale trend mod elektriske køretøjer. Danmark har derimod en specialisering inden for biobrændstoffer, hvor der er relativt mange patenter, og hvor der i perioder er investeret relativt mange offentlige FUD-midler.

Teknologier i relation til bygninger kan også rumme et potentiale. Danmark har i løbet af det seneste årti investeret relativt mange FUD-midler inden for smart grids og fjernvarme. Der er også et moderat højt niveau af patenter på området, se også baggrundsrapporten. Indikatoren for vareeksport undervurderer muligvis eksporten inden for

bygninger, da der kan være problemer med den danske indberetning for stenuld og lignende isoleringsmaterialer, se også baggrundsrapporten.

Endelig kan der også være væsentlige potentialer inden for forskning i fremme af klimarelateret adfærd. Disse aspekter er dog i ringe grad tænkt ind i de fire grønne forskningsmissioner. Analysen *Danmarks Klimamål i 2050* har illustreret, hvordan mere klimavenlig adfærd bidrager til at nå de langsigtede klimamål, herunder kostændringer og ændrede transportvaner.

Danmark har ikke specialiseret sig væsentligt siden vindenergiteknologien blev en succes

Samlet set tegner der sig et billede af, at Danmarks globale forsknings- og innovationsbidrag fortsat primært foregår gennem vindenergiteknologi. Der er ikke tydelige tegn på, at specialiseringer af lignende omfang er ved at blive udviklet på andre teknologiske områder i Danmark.

Der er andre områder, hvor Danmark kan have gode forudsætninger for at bidrage til de danske og globale klimaudfordringer, herunder inden for power-to-X. Det er dog uklart, om de danske satsninger er tilstrækkelige til at opnå nok 'kritisk masse' i form af forskningsressourcer og erhvervskompetencer til at kunne gøre samme forskel for verdens klimarelaterede teknologiudvikling, som inden for vindenergiteknologi.

4.2. Væsentlige spørgsmål til udformningen af den strategiske indsats

Notatet har analyseret Danmarks internationale position med tre indikatorer for den forskningsbaserede udvikling og udbredelse af teknologiske klimaløsninger. Resultaterne fra afsnit 4.1 perspektiveres i det følgende afsnit gennem fem spørgsmål og deres bagvedliggende afvejsninger af relevante hensyn. Disse overvejelser kan vise sig nyttige i det fremtidige, politiske arbejde med at evaluere og videreudvikle Danmarks grønne forsknings- og innovationsstrategi på vejen mod et klimaneutralt Danmark.

1) Hvordan får forsknings- og innovationsindsatsen størst mulig effekt på danske og globale udledninger?

Den danske forsknings- og innovationsindsats skal bidrage til klimaomstillingen i Danmark. Det er en grundlæggende præmis for den grønne forskningsstrategi. I den optik er Danmark et land med særlige karakteristika sammenlignet med andre lande, fx ved at store andele af vores resterende territoriale udledninger stammer fra landbrug og transport. Derfor vil nogle udfordringer på disse områder være særligt relevante at adressere i den danske forsknings- og innovationsindsats.

Samtidig har Danmark ifølge klimaloven et historisk og moralsk ansvar for at inspirere og påvirke den globale klimaomstilling.⁶² Som Klimarådet har undersøgt i analysen *Danmarks globale klimainsats* har Danmark betydelige klimaeffekter i udlandet af både negativ og positiv karakter. Danmark har fx et større negativt klimaaftryk fra vores forbrug end fra vores territoriale udledninger, fordi vi importerer mange klimabelastende varer, og fordi international transport ikke indgår i vores klimamål.⁶³ Klimarådet har også påpeget, at Danmarks høje bioenergiforbrug ikke er skalerbart på global skala. Blandt de positive aftryk indgår teknologiudvikling og -udbredelse, hvor Danmark særligt har gjort en forskel på global skala inden for vindenergiteknologi, hvilket afspejles i resultaterne i dette notat.

For at forbinde de nationale og de globale udfordringer, kan det både være relevant at prioritere indsats ud fra særlige danske udfordringer, hvor nye løsninger også kan bidrage globalt, eller ud fra store globale udfordringer hvor Danmark kan have særlige forudsætninger for at frembringe nye løsninger.

Danmark forventes fortsat at have betydelige udledninger i 2030 inden for transporten og inden for landbrug, skove, gartneri og fiskeri. Danmarks territoriale transportudledninger er godt på vej til at blive reduceret gennem elektrificeringen af vejtransporten. Regeringen forventer, at udledningerne vil blive reduceret med 32 pct. fra 2022 til 2030.⁶⁴ Der er større udfordringer inden for landbrug, skove, gartneri og fiskeri. Her forventer regeringen et mere beskedent fald på 7 pct. frem mod 2030, om end den grønne trepartsaftale kan føre til flere reduktioner, særligt efter 2030.

Fødevarereproduktionen fremstår derfor som et område, hvor Danmark har en særlig stor udfordring i form af betydelige udledninger og en forventning om langsomme reduktioner. Her er omverdenen heller ikke langt med at frembringe nye klimaløsninger, og derfor kan fremskridt i Danmark også have et stort globalt potentiale. Klimarådets analyse *Danmarks klimamål i 2050* viste, at sektorens langsigtede udfordringer gør det relevant med forskning og innovation inden for adfærdsændringer og mere radikale teknologiske løsninger som fx kunstigt kød og præcisionsfermenteret mælk.

Et andet område, hvor Danmark har særlige karaktertræk, er andelen af fluktuerende vind- og solenergi i vores elnet. Disse energiformer vil vokse yderligere i løbet af det næste årti, blandt andet med den planlagte udbygning af havvind, samtidig med at nye og fleksible forbrugere vil blive koblet på elnettet, fx inden for transport, industri og opvarmning.⁶⁵ Danmark har derfor særlige muligheder for at demonstrere, hvordan denne systemintegration bliver så driftssikker og omkostningseffektiv som muligt.

Missionen inden for grønne brændstoffer (power-to-X mv.) kan umiddelbart især bidrage til at tackle globale klimaudfordringer, da grøn brint i mindre grad er relevant for at mindske Danmarks territoriale udledninger. Hvis der vedtages et klimamål for Danmarks internationale transport, som anbefalet af Klimarådet, vil der opstå større overlap mellem de nationale og globale udfordringer, som missionen forsøger at adressere.

2) Hvordan balanceres behovet for risikospredning og tilstrækkelig koncentration af ressourcer i indsatserne?

Forskning og innovation er karakteriseret ved, at mange satsninger ikke ender med løsninger, som udbredes i samfundet. Det taler for, at man investerer bredt. Hvis alle ressourcer investeres på én eller få satsninger, øges risikoen for, at alle ressourcerne går til aktiviteter, der viser sig ikke at kunne gøre en mærkbar forskel for klimaet.

I stedet kan man støtte en bredere portefølje af klimarelaterede løsninger. Herved spreder staten risikoen, som er forbundet med at investere i forskning og innovation.⁶⁶ Risikospredningen kan dog også at føre til, at de tilgængelige midler bliver spredt for bredt ud på de forskellige områder. Det kan betyde, at der ikke opnås en tilstrækkelig 'kritisk masse' bestående af forskningsekspertise og et aktivt erhvervsliv, til at ny viden kan blive til nye løsninger.

Samlet set taler det for, at der skal findes den rette balance mellem risikospredning og tilstrækkelig koncentration af ressourcer på få udvalgte områder. Balancen er en vanskelig afvejning, hvor international arbejdsdeling og samarbejde også kan spille en nøglerolle, især inden for meget omkostningstunge områder som eksempelvis energiteknologier.⁶⁷

Denne balance kan være udgangspunkt for en diskussion om, hvorvidt man har det rette antal grønne forskningsmissioner, og om de har det rette fokus. Den grønne forsknings- og innovationsstrategi nævner muligheden for, at regeringen på sigt ville kunne identificere nye missioner for forsknings- og innovationspolitikken.⁶⁸ Det kunne blandt andet overvejes ud fra dette notats liste over hoved- og underkategorier.

Her er det relevant at opveje de mulige gevinster ved flere missioner mod risikoen for, at der bliver koncentreret for få ressourcer på hver missions område til at kunne gøre en markant forskel. Danmarks Forsknings- og Innovationspolitiske Råd har desuden lagt vægt på udfordringerne med koordination på området generelt, som kan begrænse klimaeffekterne.⁶⁹

3) Hvordan fremmer man bedst adfærdsændringer og systemintegration?

Danmarks fire grønne forsknings- og innovationspolitiske missioner fokuserer hovedsageligt på teknologiske løsninger til at nedbringe drivhusgasudledningerne fra nuværende økonomiske aktiviteter, fx kulstoffangst på punktkilder og grønne brændstoffer til de nuværende transportbehov. Samtidig ser missionerne på grønne løsninger, der har potentiale for at skabe eksport og arbejdspladser i Danmark. FN's klimapanel (IPCC) har i deres seneste rapport understreget behovet for teknologiudvikling.⁷⁰

En teknologiorienteret tilgang betyder dog, at andre relevante klimaløsninger risikerer at blive overset. Det kan eksempelvis være viden om, hvordan adfærdsændringer kan stimuleres og bidrage til omstilling imod klimaneutralitet. Klimarådets analyse *Danmarks klimamål i 2050* viser, hvor vigtige adfærdsændringer er for at finde løsninger inden for de områder, som er vanskeligst at omstille, se også afsnit 1.2.⁷¹ Det kan fx være et skift til mere plantebaseret kost og til færre flyveture. Som Klimarådet har beskrevet det i analysen *Klimavenlig mad og forbrugeradfærd*, er det både relevant

at anvende kombinationer af økonomiske incitamenter, information og tiltag, der kan fjerne barrierer og normalisere ny klimaadfærd, fx offentlige indkøb.⁷² Forskning og innovation kan bidrage med viden om, hvordan dette potentiale kan realiseres.

Ændringer af klimaaftrykket for danskernes forbrug er stort set fraværende i de fire missioner,⁷³ hvor forbrugeradfærd dog nævnes kort i forbindelse med missionen om genanvendelse af tekstil og plastikaffald.⁷⁴ Det kan overvejes, om klimavenlig adfærd kan integreres i de nuværende missioner ved at fokusere missionerne mere på udfordringer med at reducere udledninger og mindre på teknologiske løsninger.⁷⁵

Systemintegration af vores energisystemer er et andet tema, som er centralt for at nå de langsigtede klimamål. Jo mere fleksibelt forbruget bliver, jo bedre balanceret vil elsystemet være, som Klimarådet har belyst i analysen *Sikker elforsyning med sol og vind*.⁷⁶ Disse systemiske løsninger er således væsentlige for at muliggøre en omkostningseffektiv omstilling, selv om de ikke nødvendigvis bidrager direkte til danske virksomheders eksport. Danmark har en stor og voksende andel af variabel vedvarende strømproduktion, og flere sektorer er ved at blive elektrificeret direkte eller indirekte, fx gennem produktion af grønne brændstoffer eller elektrisk opvarmning i fjernvarmen.

4) Hvordan kan indsatser for at udvikle og udbrede klimarelaterede løsninger bedst kombineres?

Ordet 'innovationspolitik' bliver ofte brugt i Danmark om politik, der specifikt søger at understøtte udviklingen af nye innovationer, som derved øger udbuddet af løsninger til rådighed for samfundet.⁷⁷ Forskningsstrategien fra 2020 giver anledning til at anlægge et bredere perspektiv på innovationspolitikken, hvor efterspørgslen på løsninger i højere grad tænkes sammen med udviklingen af dem.⁷⁸ Det skyldes, at strategien har som mål at udvikle løsninger, som skal udbredes og derigennem bidrage til at nå klimalovens reduktionsmål og regeringens langsigtede mål om at opnå 110 pct. reduktion i 2050. Historisk set har udvikling og ibrugtagning af sådanne løsninger i samfundet vist sig at tage længere tid, end klimaudfordringen giver os i dag.⁷⁹

Regeringens ekspertgruppe om forskningens betydning for den grønne omstilling vurderer tilsvarende, at efterspørgselsorienterede politiske instrumenter har stor betydning for forsknings- og innovationsindsatsen målrettet klimaomstillingen.⁸⁰ Ekspertgruppen peger blandt andet på efterspørgsels betydning for udviklingen af moderne vindenergiteknologi i Danmark, og at øget efterspørgsel får flere private virksomheder til at investere i teknologiudvikling. Internationalt er der eksempler på, at staten har bidraget til både udvikling og udbredelse inden for blandt andet rumfart og fødevarer-, energi- og forsvarsbranchen i USA og Europa.⁸¹

Efterspørgselsorienterede instrumenter kan blandt andet være CO₂e-afgifter og EU's kvotesystem, foruden subsidier, offentlige indkøb og investeringer i infrastruktur.⁸² Hvis man tidligt i innovationsprocessen stimulerer efterspørgslen, kan man hjælpe teknologier forbi 'dødens dal'. 'Dødens dal' betegner de forhindringer, der kan opstå mellem fasen for teknologiudvikling og fasen for kommerciel udbredelse.⁸³ En stimuleret efterspørgsel kan skabe grobund for en kommerciel udbredelse. For nye løsninger er det også relevant at få dokumenteret klimaeffekterne, hvilket kan være afgørende, for at løsningerne bliver efterspurgt.

I afsnit 4.1 blev det vurderet, at power-to-X kan være et område, hvor Danmark har gode forudsætninger for at bidrage gennem forskning og innovation, om end det endnu ikke er en decideret eksportstyrke. Det kan være en efterspørgselsmæssig udfordring, at det danske forbrug af brint er relativt lille, da det mest er raffinaderierne, som anvender brint. Regeringen har i 2023 afholdt et udbud af 1,25 mia. kr. til støtte af produktion af grøn brint, men der er ikke planer om flere udbud.⁸⁴ I stedet skal et brintrør til Tyskland gøre det muligt at opnå efterspørgsel på brint fra udlandet, men det er usikkert, om investorerne vil påtage sig de risici, der kræves af staten for at medfinansiere infrastrukturen.⁸⁵ En anden kilde til efterspørgsel kan på sigt opstå, hvis regeringen følger Klimarådets anbefaling om at fastlægge et klimamål for den internationale transport, hvor brintbaserede brændstoffer kan spille en rolle.

5) Hvordan sikres den nødvendige læring af forsknings- og innovationspolitikken?

Det er vanskeligt at evaluere forsknings- og innovationspolitik, da der er komplekse årsagssammenhænge, tilfældigheder og lange tidshorisonter i spil.⁸⁶ Derfor kræver det arbejde med at udvikle systematiske metoder til at opsamle erfaring og læring om effekterne af indsatserne, som kan bruges til at justere de strategiske prioriteringer og implementeringen.⁸⁷ Dette pointeres også af Europa-Kommissionen og OECD.⁸⁸ Det kan samtidig være en udfordring at være tilstrækkeligt fremadskuende og ikke kun basere sig på evaluering af historiske opgørelser.⁸⁹

Analysens tre indikatorer belyser Danmarks forudsætninger for at kunne bidrage med nye klimavenlige løsninger gennem forskning og innovation med vægt på internationale sammenligninger. Som nævnt i afsnit 3.1 kan indikatorerne ikke stå alene, og de kan med fordel videreudvikles. Regeringens ekspertgruppe om forskningens betydning for den grønne omstilling vil med sin afrapportering kunne kvalificere vidensgrundlaget og udpege yderligere indikatorer, som kan være relevante at monitorere.

Hvem har vi talt med?

Maria Limneos, Patent- og Varemærkestyrelsen; Lektor Lars Alkærsig, Centre for Technology Entrepreneurship, DTU; Professor Peter Ruhdal Jensen, DTU; Sekretariatet for Ekspertgruppen for forskningens betydning for den grønne omstilling i Uddannelses- og Forskningsministeriet; Energistyrelsens afdeling med ansvar for opgørelsen af Danmarks grønne eksport; Professor Teis Hansen, IFRO, KU; Mattias Andersson, Senior Executive Officer, DTU Wind og Jon Nielsen, AE-Rådet.

5. Referencer

- ¹ EU (EDGAR), *GHG emissions of all world countries*, 2023.
- ² Hausfather, Z., & Friedlingstein, P., *Analysis: Growth of Chinese fossil CO2 emissions drives new global record in 2023*, 2023.
- ³ EU (EDGAR), *GHG emissions of all world countries*, 2023.
- ⁴ IEA, *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*, 2023;
IEA, *Reaching net zero emissions demands faster innovation, but we've already come a long way*, 2023.
- ⁵ IEA, *ETP Clean Energy Technology Guide*, 2024; IEA, *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*, 2023; IEA, *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*, 2023.
- ⁶ Klimarådet, *Danmarks klimmål i 2050*, 2024.
- ⁷ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Fremtidens grønne løsninger. Strategi for investeringer i grøn forskning, teknologi og innovation*, september 2020.
- ⁸ Klimarådet, *Danmark globale klimaindsats*, 2023;
- ⁹ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Oversigt over bidragydere til kortlægninger om grønne forskningsbehov og -potentialer*, 2020.
- ¹⁰ Klimarådet, *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion*, 2020.
- ¹¹ DFiR, *Klimamål og midler*, 2022.
- ¹² Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Klimaprogram 2023*, 2023.
- ¹³ Klimarådet, *Danmark globale klimaindsats - Baggrundsnotat 7: Teknologiuudvikling og -udbredelse*, 2023.
- ¹⁴ Regeringen m.fl., *Aftale om et Grønt Danmark*, 2024.
- ¹⁵ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Klimaprogram 2023*, 2023.
- ¹⁶ Klimarådet, *Danmark globale klimaindsats*, 2023;
Klimarådet, *Kommentering af global afrapportering 2024*, 2024.
- ¹⁷ Uddannelses- og forskningsministeriet, *Fremtidens grønne løsninger*, 2020; ATV, *Strategiske teknologier for Danmark*, 2023.
- ¹⁸ Finansministeriet, *Økonomisk Redegørelse, december 2020*, 2020;
Erhvervsministeriet, *Redegørelse om vækst og konkurrenceevne*, 2023;
Patent- og Varemærkestyrelsen, *Danmarks grønne styrkeposition*, 2020.
- ¹⁹ Arbejderbevægelsens erhvervsråd, *Forskning, uddannelse og kredit kan øge den grønne innovation*, 2021;
IRIS Group, *Danske styrker inden for forskning, teknologi og uddannelse*, 2019;
Akademiet for de Tekniske Videnskaber, *Strategiske teknologier for Danmark*, 2023;
Kraka, *Innovation - nøglen til bæredygtig vækst*, 2020.
- ²⁰ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Fremtidens grønne løsninger. Strategi for investeringer i grøn forskning, teknologi og innovation*, september 2020.
- ²¹ Peter Karnøe, *Dansk vindmølleindustri : en overraskende international succes*, 1991;
van Est, Rinie (2022). *The Success of Danish Wind Energy Innovation Policy: Combining Visionary Politics*

and *Pragmatic Policymaking* i Caroline de la Porte m.fl. (eds), *Successful Public Policy in the Nordic Countries: Cases, Lessons, Challenges* (Oxford, 2022; Oxford Academic, 20 okt. 2022).

²² Klimarådet, *Baggrundsnotat 7 – Teknologiudvikling og -udbredelse*, 2023.

²³ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Klimaprogram 2021*, 2021.

²⁴ Peter Karnøe, *Dansk vindmølleindustri: en overraskende international succes*, 1991.

²⁵ van Est, Rinie (2022). *The Success of Danish Wind Energy Innovation Policy: Combining Visionary Politics and Pragmatic Policymaking* i Caroline de la Porte m.fl. (eds), *Successful Public Policy in the Nordic Countries: Cases, Lessons, Challenges* (Oxford, 2022; Oxford Academic, 20 okt. 2022);

Lena Neij og Per Dannemand Andersen, *A Comparative Assessment of Wind Turbine Innovation and Diffusion Policies*, i *Energy Technology Innovation: Learning from Historical Successes and Failures* (Cambridge: Cambridge University Press, 2013).

²⁶ Voldsgaard, A. og Rüdiger, M., *Innovative Enterprise, Industrial Ecosystems, and Sustainable Transition: The Case of Transforming DONG Energy to Ørsted* i Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds) *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer.

²⁷ Our World in Data, *Electricity generation from wind power*, 2023.

²⁸ Jorund Buen, *Danish and Norwegian Wind Industry: The Relationship between Policy Instruments, Innovation and Diffusion*, *Energy Policy* 34, nr. 18 (december 2006): 3887–97;

Karnøe, *Dansk vindmølleindustri: en overraskende international succes*;

Benjamin K. Sovacool, *Energy Policymaking in Denmark: Implications for Global Energy Security and Sustainability*, *Energy Policy* 61 (oktober 2013): 829–39;

Benjamin K. Sovacool og Janet L. Sawin, *Creating Technological Momentum: Lessons from American and Danish Wind Energy Research*, *The Whitehead Journal of Diplomacy and International Relations* 11, nr. 2, 43–57, 2010.

²⁹ DEA, *Arven fra vindmøllerne*, 2022.

³⁰ van Est, R., *The Success of Danish Wind Energy Innovation Policy: Combining Visionary Politics and Pragmatic Policymaking*, 2022; Neij, L. og Andersen, P.D., *A Comparative Assessment of Wind Turbine Innovation and Diffusion Policies*, 2012.

³¹ DEA, *Arven fra vindmøllerne*, 2022.

³² Allan, B., Lewis, J.I. & Oatley, T., *Green Industrial Policy and the Global Transformation of Climate Politics* i *Global Environmental Politics* (2021) 21 (4): 1–19., 2021.

³³ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Fremtidens grønne brændstoffer*, 2021.

³⁴ CBS m.fl., *Roadmap for Green Fuels in Transport and Industry*, 2021.

³⁵ FUD-analysen anvender data fra IEA og OECD om offentlige investeringer i forskning, udvikling og demonstration af energiteknologi siden 1974. Kilde: IEA, *Energy Technology RD&D Budgets*, 2024, OECD's opgørelse over offentlige investeringer i forskning og udvikling inden for landbrug generelt, samt Uddannelses- og Forskningsministeriets opgørelser over de grønne investeringer;

Patentanalysen anvender patentdata fra European Patent Office og US Patent and Trademark Office, som Patent- og Varemærkestyrelsen har lavet udtræk til Klimarådet fra gennem PATSTAT;

Eksportanalysen anvender data over verdenshandlen fra FN's Comtrade-database. Link:

<https://comtradeplus.un.org/>.

³⁶ Klimarådet, *Kommentering af global afrapportering 2024*, 2024.

³⁷ Klimarådet, *Kommentering af global afrapportering 2024*, 2024.

³⁸ Der kan også konstrueres indeks som blander forskellige kvalitetsindikatorer, se fx Krakas patentanalyse med inspiration fra OECD i Kraka, *Innovation - nøglen til bæredygtig vækst*, 2020.

³⁹ IEA, *Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*, 2023.

⁴⁰ Uddannelses- og forskningsministeriet, *Bevillinger til grøn forskning og innovation i 2022*, 2023.

⁴¹ Aker Carbon Capture, *Aker Carbon Capture and Ørsted sign contract for delivery of five Just Catch units and equipment of over EUR 200 million*, 2023.

⁴² OECD, *OECD Patent Statistics Manual*, 2009.

⁴³ Dernis, H., Khan, M., *Triadic Patent Families Methodology*, 2004, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2004/02.

⁴⁴ OECD, *OECD Patent Statistics Manual*, 2009.

⁴⁵ United Nations, *World Population Prospects: The 2022 Revision*, 2022.

⁴⁶ Bloch, C., Ryan, T.K., Falkenberg, M., Baker, C., *The Danish wind energy sector's eco-system of research and testing facilities: Academic report from the Danish Centre for Studies in Research and Research Policy, Department of Political Science, Aarhus University*, 2022;

- van Est, R., *The Success of Danish Wind Energy Innovation Policy: Combining Visionary Politics and Pragmatic Policymaking* i de la Porte, C. m.fl. (eds), *Successful Public Policy in the Nordic Countries: Cases, Lessons, Challenges*, 2022. Oxford Academic.
- ⁴⁷ FN Comtrade (u.å.): Trade Data. Dataset, Tilgået 27/3/2024, via. FN Comtrade API Call.
- ⁴⁸ WTO, *Report by the Chairman to the Trade Negotiations Committee on the Committee and Trade and Environment in Special Session TN/TE/20 (21 April 2011)*, 2011.
- ⁴⁹ Sauvage, J., *The Stringency of Environmental Regulations and Trade in Environmental Goods*, 2014.
- ⁵⁰ WTO, *Report by the Chairman to the Trade Negotiations Committee on the Committee and Trade and Environment in Special Session TN/TE/20 (21 April 2011)*, 2011.
- ⁵¹ APEC, *Annex C – APEC List of Environmental Goods*, 2012.
- ⁵² Mealy, P. & Teytelboym, A., *Economic complexity and the green economy*, 2022, *Research Policy*, 51(8), 103948.
- ⁵³ IPPR reference
- ⁵⁴ Energistyrelsen, direkte kommunikation d. 21. februar 2024.
- ⁵⁵ Liste udarbejdet af NIRAS over grønne varegrupper og grønne vægte som ligger til grund for bl.a. *Eksport af energiteknologi og -services 2022*, udgivet af Energistyrelsen og tre brancheorganisationer. Tilsendt fra Energistyrelsen.
- ⁵⁶ Danmarks Statistik, *Eksporten af tjenester steg i april, 2024*.
- ⁵⁷ Danmarks Statistik, *Hvor stor er dansk eksport og hvem er vores samhandelspartnere?, 2022*
- ⁵⁸ Mealy, P. & Teytelboym, A., *Economic complexity and the green economy*, 2022, *Research Policy*, 51(8), 103948.
- C.A. Hidalgo, R. Hausmann *The building blocks of economic complexity*, *Proceed. Natl. Acad. Sci.*, 106 (26) (2009), pp. 10570-10575;
- R. Hausmann, C.A. Hidalgo, S. Bustos, M. Coscia, A. Simoes, M.A. Yildirim, *The Atlas of Economic Complexity: Mapping paths to prosperity*, MIT Press (2014)
- ⁵⁹ Mealy, P. & Teytelboym, A., *Economic complexity and the green economy*, 2022, *Research Policy*, 51(8), 103948.
- ⁶⁰ C.A. Hidalgo, R. Hausmann *The building blocks of economic complexity*, *Proceed. Natl. Acad. Sci.*, 106 (26) (2009), pp. 10570-10575;
- R. Hausmann, C.A. Hidalgo, S. Bustos, M. Coscia, A. Simoes, M.A. Yildirim, *The Atlas of Economic Complexity: Mapping paths to prosperity*, MIT Press (2014)
- ⁶¹ Enerdata, *World Energy & Climate Statistics – Yearbook 2024: Share of electricity in total final energy consumption, 2024*.
- ⁶² Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, *Lov om klima*, LBK nr 2580 af 13/12/2021 §, 2021, <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2021/2580>.
- ⁶³ Klimarådet, *Statusrapport 2024*, 2024;
- Klimarådet, *Danmarks globale klimaindsats, 2023*.
- ⁶⁴ Regeringen, *Klimastatus- og Fremskrivning 2024*, 2024
- ⁶⁵ Klimarådet, *Sikker elforsyning med sol og vind, 2023*.
- ⁶⁶ Foray, D. m.fl., *Public R&D and Social Challenges: What Lessons from Mission R&D Programs?*, 2012., *Research Policy* 41, nr. 10, 1697–1702.
- ⁶⁷ Mowery, D.C., *Defense-Related R&D as a Model for “Grand Challenges” Technology Policies*, 2012, *Research Policy* 41, nr. 10, 1703–15.
- ⁶⁸ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Fremtidens grønne løsninger. Strategi for investeringer i grøn forskning, teknologi og innovation*, september 2020.
- ⁶⁹ DFIR, *Klimamål og midler, 2022*.
- ⁷⁰ Calvin, K. m.fl., *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2023.
- ⁷¹ Klimarådet, *Danmarks klimamål i 2050*, 2024.
- ⁷² Klimarådet, *Klimavenlig mad og forbrugeradfærd*, 2021
- ⁷³ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Faktabilag. Regeringens forslag til missioner i 2021*, 2020.
- ⁷⁴ Uddannelses- og Forskningsministeriet, *Bevillinger til grøn forskning og innovation*, 2022.
- ⁷⁵ OECD, *The design and implementation of mission-oriented innovation policies: A new systemic policy approach to address societal challenges*, 2021.
- ⁷⁶ Klimarådet, *Sikker elforsyning med sol og vind, 2023*.
- ⁷⁷ Regeringen, *Danmark – Løsningernes land*, 2012;
- Regeringen, *Danmark – klar til fremtiden*, 2017.

- ⁷⁸ Jakob Edler m.fl., *Handbook of Innovation Policy Impact*, 2016.
- ⁷⁹ Robert Gross m.fl., *How Long Does Innovation and Commercialisation in the Energy Sectors Take? Historical Case Studies of the Timescale from Invention to Widespread Commercialisation in Energy Supply and End Use Technology*, *Energy Policy* 123, 682–99, 2018.
- ⁸⁰ Ekspertgruppen om forskningens betydning for den grønne omstilling, *Rapport 1. Baggrunden for ekspertgruppen om forskningens betydning for den grønne omstilling*, 2023
- ⁸¹ Robinson, D.K.R. og Mazzucato, M., *The Evolution of Mission-Oriented Policies: Exploring Changing Market Creating Policies in the US and European Space Sector*, 2019;
- Foray, D. m.fl., *Public R&D and Social Challenges: What Lessons from Mission R&D Programs?*, 2012;
- Mowery, D.C. m.fl., *Technology Policy and Global Warming: Why New Policy Models Are Needed (or Why Putting New Wine in Old Bottles Won't Work)*, 2010;
- Nemet, G., *How Solar Energy Became Cheap: A Model for Low-Carbon Innovation*, 2019. London: Routledge.
- ⁸² Jakob Edler m.fl., *Handbook of Innovation Policy Impact*, 2016.
- ⁸³ Capasso, M., Hansen, T., Heiberg, J., Klitkou, K., Steen, M., *Green growth – A synthesis of scientific findings*. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146, 390-402;
- Stern, Nicholas, *A Time for Action on Climate Change and a Time for Change in Economics*, 2022, *The Economic Journal*, 132, 644, 2022, 1259–12 (<https://doi.org/10.1093/ej/ueac005>);
- Grubb, M., Drummond, P., Poncia, A., McDowall, W., Popp, D., Samadi, S., Penasco, C., Gillingham, K.T., Smulders, S., Glachant, M., Hassall, G., Mizuno, E., Rubin, E.S., Dechezleprêtre, A., Pavan, G., *Induced innovation in energy technologies and systems: a review of evidence and potential implications for CO2 mitigation*, 2021, *Environmental Research Letters*, 16, 4 (<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde07>);
- ⁸⁴ Energiwatch, *Klimaminister: "Vi har ikke planer om at lave nye PTX-udbud"*, 2024.
- ⁸⁵ Klimarådet, *Kommentering af Global afrapportering 2024*, 2024;
- Hunt, O. B., & Tilsted, J. P., *'Risk on steroids': Investing in the hydrogen economy*, 2024, *Environment and Planning A: Economy and Space*, o(o).
- ⁸⁶ Borrás, S., Laatsit, M., *Towards system oriented innovation policy evaluation? Evidence from EU28 member states*, 2019, *Research Policy* Volume 48, Issue 1, side 312-321.
- ⁸⁷ Capasso, M., Hansen, T., Heiberg, J., Klitkou, K., Steen, M., *Green growth – A synthesis of scientific findings*. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146, 390-402;
- Joint Institute for Innovation Policy m.fl., *Mission-Oriented Research and Innovation: Inventory and Characterisation of Initiatives: Final Report*, 2018..
- ⁸⁸ Mariana Mazzucato, *Governing Missions in the European Union* (Luxembourg: European Commission, 2019);
- OECD, *The design and implementation of mission-oriented innovation policies: A new systemic policy approach to address societal challenges*, 2021.
- ⁸⁹ Amanatidou, E. m.fl., *Using Evaluation Research as a Means for Policy Analysis in a "New" Mission-Oriented Policy Context*, 2014; Grillitsch, M. m.fl., *Innovation Policy for System-Wide Transformation: The Case of Strategic Innovation Programmes (SIPs) in Sweden*, 2018; Mazzucato, M. m.fl., *Challenge-Driven Innovation Policy: Towards a New Policy Toolkit*, 2020; Kattel, R. og Mazzucato, M., *Mission-Oriented Innovation Policy and Dynamic Capabilities in the Public Sector*, 2018; Molas-Gallart, J., m.fl., *A Formative Approach to the Evaluation of Transformative Innovation Policy*, 2020.

