

Faktabilag

Temaer

I dette bilag beskrives væsentlige forskningsbehov og -potentialer inden for grøn forskning. Det omfatter forskning inden for syv temaer, der er identificeret som led i arbejdet med den grønne forskningsstrategi:

1. Energiproduktion mv.
2. Energieffektivisering
3. Landbrug og fødevareproduktion
4. Transport
5. Miljø og cirkulær økonomi
6. Natur og biodiversitet
7. Bæredygtig adfærd og samfundsmæssige konsekvenser

Regeringen udpeger i den grønne forskningsstrategi fire missioner, som det foreslås at prioritere med særlige midler i 2021:

- Fangst og lagring eller anvendelse af CO₂
- Grønne brændstoffer til transport og industri (f.eks. Power-to-X)
- Klima- og miljøvenligt landbrug og fødevareproduktion
- Genanvendelse og reduktion af plastikaffald

Beskrivelserne af temaer og de fire missioner i strategien udgør grundlaget for regeringens prioriteter i forbindelse med oplæg til fordeling af forskningsreserven for 2021.

Temaerne kan i bred forstand være basis for tematiske opslag af grønne forskningsmidler i offentlige fonde og programmer – ud over de midler, der prioriteres til missionsdrevne partnerskaber. Temaerne kan også danne grundlag for, at der i de kommende år potentielt kan identificeres yderligere nye missioner

Temaet om bæredygtig adfærd og samfundskonsekvenser er tværgående og skal ses i tæt sammenhæng med de øvrige temaområder.

Identificeringen af temaer og missioner er sket på baggrund af Uddannelses- og Forskningsministeriets kortlægning af grønne forskningsbehov og -potentialer samt erhvervs- og forskningsmæssige styrker og potentialer.

Der er i foråret 2020 gennemført høringer, som har involveret fagministerier, videregående uddannelsesinstitutioner, GTS-institutter, innovationsnetværk og klynger, offentlige og private fonde, erhvervs- og interesseorganisationer, NGO'er og faglige organisationer. Baggrundsnotater med det fulde videngrundlag, som indeholder yderligere uddybning af interessenterne prioriteter i forhold til forskningsbehov mv., er

tilgængeligt på www.ufm.dk/groenforskning og giver tilsammen et billede af det samlede grønne forskningslandskab i Danmark og dets potentiale for at bidrage til den grønne omstilling.

1. Energiproduktion mv.

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Fangst af CO₂ fra punktkilder eller atmosfæren
 - Anvendelse af CO₂ til klimaneutrale produkter
 - Lagring af CO₂
 - Brintproduktion
 - Grønne brændstoffer og materialer til transport og industri
 - Intelligente løsninger til integration af vedvarende energi (VE)
 - Omkostningseffektive VE-teknologier til energiproduktion
-

Samfundsudfordringer

FN's klimapanel og miljøprogram peger på nødvendigheden af negative udledninger, hvis den globale opvarmning skal bremses, og Parisaftalens mål skal overholdes. Negative emissioner kan trækkes fra i det nationale drivhusgasregnskab, og fangst og lagring af CO₂ kan dermed blive et vigtigt virkemiddel til at nå danske klimamålsætninger. Ved fangst og lagring (CCS) er det muligt at nedbringe udledninger, som ellers er svære at reducere, og opnå negative udledninger. Det sidste sker ved at indfange og lagre CO₂ fra afbrænding af biomasse, fordi den CO₂, som planterne har optaget, dermed flyttes til undergrunden, men kan i princippet også ske ved at fange CO₂ direkte fra luften og efterfølgende deponere den. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) vurderer, at der i den danske undergrund er samlet lagringspotentiale på 22 mia. t. CO₂ eller godt 2000 gange de skønnede danske CO₂-udledninger fra store CO₂ kilder i 2030-2040. Det åbner et potentiale for, at Danmark kan lagre CO₂ fra andre lande. Den indfangede CO₂ kan på længere sigt også anvendes i produktionen af klimaneutrale løsninger og materialer som f.eks. flybrændstoffer, tekstiler og plastik (CCUS).

En anden stor udfordring er at reducere drivhusgasudledningerne fra især de dele af transport- og industrisektoren, som ikke direkte kan elektrificeres med strøm fra vedvarende energikilder. Det drejer sig især om tung transport, fly og skibe samt energitung industriproduktion som f.eks. stål, cement mv. For at udvikle grønne brændstoffer og brændsler er der behov for at udvikle løsninger til, hvordan man i stor skala kan lagre el fra vedvarende energikilder i kemisk i form af brint ved hjælp af elektrolyse. Brint kan i sig selv bruges direkte som brændsel til varmeproduktion eller som brændstof i biler ved hjælp af brændselsceller, men er også første trin i udviklingen af en række andre kulstofholdige brændsler og brændstoffer såsom f.eks. metanol og ammoniak, som vil kunne erstatte konventionelle fossile brændstoffer i f.eks. fly og skibe. Anvendelse af indfanget CO₂ er en forudsætning for produktion af disse kulstofholdige Power-to-X-produkter, hvorfor der også er en tæt sammenhæng til CCUS.

En større elektrificering af Danmark i forbindelse med en eventuel væsentlig omlægning til elbiler vil medføre en væsentligt forøget efterspørgsel af vedvarende energi, ligesom udviklingen af Power-to-X-teknologier er afhængig af en stabil forsyning af vedvarende energi til lave omkostninger. En tredje udfordring i energisystemet er således behovet for integration af de vedvarende energikilder i den danske energiinfrastruktur på tværs af sektorer og markeder samt balancering af en overvejende vejrafhængig og dermed fluktuerende energiproduktion. Vedvarende energi skal på sigt dække det globale stigende energibehov, således at grøn strøm med høj forsyningssikkerhed kan være drivende for udfasningen af fossile brændsler i husholdninger såvel som industri. I sammenhæng hermed er det en særlig udfordring at dække spidsbelastninger i nettet med vedvarende energi. En mere intelligent og sammenkoblet energiinfrastruktur kan bidrage til at sænke de samlede omkostninger til gennemførelsen af den grønne omstilling i Danmark og åbne op for helt nye forretningsmodeller for virksomheder til at kunne levere grønnere strøm til forbrugerne. En forskningsindsats kan bl.a. fokusere på at udvikle konkurrencedygtige, effektive og fleksible vedvarende energiteknologier (VE) og løsninger til energiproduktion, -infrastruktur og -lagring til et klimaneutralt (VE-baseret) energisystem, der kan levere konkurrencedygtig og sikker el- og varme helt uden udledning af fossil CO₂.

Forskningsbehov og -potentialer

Der er et stort behov for særligt at gøre fangstteknologier mere effektive og billigere. De høje omkostninger betyder, at der ikke er tilstrækkeligt økonomisk incitament til at anvende teknologien, hvilket står i vejen for en bredere udbredelse af teknologien. Der er ligeledes et behov for en styrket forskning i de geologiske forudsætninger for lagring af CO₂ i Danmark, for udvikling og optimering af de materialer, der anvendes ved CO₂-lagring og udvikling af robuste analysemetoder, der kan monitorere og forebygge udslip af drivhusgasser fra lagre.

Efterspørgslen efter grøn brint og andre Power-to-X-produkter er ikke tilstrækkelig til, at der er sket en markedsdrevet udbygning, hverken i Danmark eller i udlandet. Årsagen er, at der er store omkostninger forbundet med produktionen, hvorfor prisen på den grønne brint og andre brintbaserede produkter bliver relativt høj i forhold til fossile alternativer. Der er derfor behov for en målrettet forsknings-, udviklings- og demonstrationsindsats for at bringe disse delteknologier til et niveau af teknologisk modenhed, som muliggør kommerciel anvendelse, ligesom der er behov for at demonstrere, hvordan Power-to-X-systemer kan integreres i det samlede energisystem, f.eks. sammen med varmesektoren. Det vil gøre det muligt at videreudvikle hele feltet og styrke en række aktuelle projekter, hvor forsknings- og erhvervsmæssige kompetencer samles med det formål at udvikle fremtidens Power-to-X teknologier.

Inden for produktion af vedvarende energi er der et behov for at fortsætte med at sænke omkostningerne ved at udvikle, teste og demonstrere nye løsninger, øge driftssikkerhed og ydeevne. Både på havet og på land er der desuden brug for at forske, udvikle og demonstrere implementeringsstrategier, der kombinerer viden om værdien af forskellige politiske, økonomiske og sociale virkemidler for at opnå en bedre og hurtigere implementering af vedvarende energianlæg i samfundet. På varmesiden baserer forskningsbehovet sig bl.a. på at forstå, i hvilket omfang den biomassebaserede energiproduktion sker på bekostning af anden arealanvendelse både nationalt og globalt. Ef-

fektiv integration af vedvarende energi fra f.eks. vind og sol med forbrugssiden, herunder bygninger, industri og transport, kræver forskning og udvikling, bl.a. indenfor IoT, big data, AI og komponenter til et fleksibelt forbrug. Der er behov for fortsat forskning og udvikling for at gøre en bred vifte af forskellige energikonverterings- og lagringsteknologier økonomisk attraktive, energieffektive og skalerbare.

Erhvervsmæssige og forskningsmæssige styrker

Der findes forskningsmiljøer inden for CCUS på flere danske forskningsinstitutioner og GTS-institutter, men anvendelse af CCUS i Danmark er fortsat på demonstrationsstadiet. Der er få, men væsentlige danske erhvervsstyrker inden for CCUS. Området rummer et stort fremtidigt erhvervspotentiale, idet Det Internationale Energiagentur forventer, at flere internationale energiselskaber i fremtiden vil efterspørge og investere i CCUS-infrastruktur og -teknologi. Oplagte potentielle partnere til udvikling af en dansk CCUS-industri er den nuværende olieindustri, cementindustri, affaldsforbrændingsanlæg og andre energitunge fremstillingsindustrier.

Inden for Power-to-X kan Danmark bygge på en stærk forskningsmæssig tradition inden for især brint og elektrolyse, der ligeledes er en erhvervsmæssig styrkeposition. Danmark har i kraft af sin avancerede energisektor og placering flere komparative fordele, bl.a. konkurrencedygtige elpriser, et stort vedvarende energipotentiale og et fjernvarmesystem, der kan udnytte værdien af overskudsvarme ved energikonvertering. Danmark har desuden en række allerede eksisterende erhvervsmæssige styrkepositioner, som dækker hele Power-to-X-værdikæden og giver mulighed for at opbygge partnerskaber af globalt førende virksomheder inden for grøn energiteknologi, maritime erhverv, transport og logistik, kemikalier m.fl.

Danmark er internationalt anerkendt som et grønt foregangsland med erhvervsmæssige styrker og en stor eksport inden for grøn energiteknologi efter flere årtier med fokus på udviklingen af et klimaneutralt energisystem. Eksporten understøttes af forskning på højeste internationale niveau: Danmark er det land i det nuværende EU-rammeprogram for forskning og innovation i EU, som (målt per capita) indtil videre har hentet næstflest midler hjem fra energiprogrammerne i EU. Dansk forskning inden for bæredygtige energiteknologier og -produktion klarer sig godt og bedre end både gennemsnittet for den danske forskning og verdensgennemsnittet målt på videnskabelig gennemslagskraft¹. Der er desuden et stærkt samspil mellem forskning på universiteter, GTS-institutter og industrien. Energiområdet er også i front med udtagning af patenter. Tilsammen med storskala-testcentre rundt om i landet og avancerede testfaciliteter på de danske GTS-institutter skaber det et meget stærkt økosystem for forskning, udvikling, demonstration og test i Danmark.

Internationalt perspektiv

Med den nye EU Innovation Fund er der lagt op til at støtte projekter, der kan føre til konkrete CO₂-reduktioner, herunder CCUS-projekter. Der er endvidere potentiale for bilateral samarbejde med fremtrædende og excellente forskningsmiljøer i lande uden for Europa, herunder blandt andet USA.

¹ jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

Der er stort fokus på brint som en del af fremtidens europæiske energisystem i mange EU-medlemslande samt Europa-Kommissionen. Kommissionen har offentliggjort en europæisk brintstrategi, som bl.a. omfatter lanceringen af Den Europæisk Alliance for Ren Brint (European Clean Hydrogen Alliance). Danmark har i september 2020 meldt sig ind i alliancen, som har til formål at fremme koordination af investeringer i brintteknologi og drøfte, hvordan både regulatoriske og øvrige flaskehalse kan håndteres for at øge produktion af og efterspørgsel på vedvarende og kulstoffattig brint. Udviklingen skal bl.a. understøttes af det kommende Horizon Europe-partnerskab Clean Hydrogen og EU Innovation Fund. Fra lande som USA, Tyskland, Brasilien, Kina, Indien og Korea er der desuden interesse i at samarbejde med Danmark om forskning i både Power-to-X-teknologier og brint.

Inden for udviklingen af de øvrige grønne energiproduktions-, -lagrings- og -infrastrukturteknologier vil danske virksomheder og forskere fortsat have særdeles gode muligheder for at indgå i internationale forskningsprojekter finansieret af energiprogrammerne i EU, herunder det kommende europæiske Horizon Europe-partnerskab inden for energiområdet - Clean Energy Transition. Takket været Danmarks tætte integration med det europæiske elnet bidrager den danske udbygning af havvind med CO₂-reduktioner i nabolande. Det betyder, at danske virksomheder er kvalificeret til også at søge om EU-midler til fremme af og forskning i hybridprojekter, der kombinerer produktion af og handel med elektricitet på havet. De danske innovationscentre rundt om i verden fremhæver et særligt potentiale i styrket bilateralt samarbejde med bl.a. USA, Tyskland, Kina, Indien og Korea.

2. Energieffektivisering

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Energieffektivt byggeri og bygningsrenovering
 - Optimering af produktionsprocesser og -systemer
 - Energieffektiv industriproduktion
-

Samfundsudfordringer

Selvom energiforsyningen i stigende grad baseres på vedvarende energi (VE), er der fortsat et potentiale for at reducere drivhusgasudledningen ved at udnytte energien mere effektivt. Det gælder særligt i produktionserhvervene, men også i øvrige erhverv, byggeri og varmesektoren og i mindre grad bygninger. Effektiv brug af energien reducerer behovet for at udbygge el-nettet samt produktionen af vedvarende energi fra vindmøller og solceller. Samtidig kan energieffektivisering mindske forbruget af andre begrænsede ressourcer, herunder biomasse, og på sigt understøtte et fleksibelt energiforbrug. I Danmark er der især et potentiale for at opnå drivhusgasreduktioner gennem energieffektiviseringer i det fossile energiforbrug i produktionserhvervene.

Forskningsbehov og -potentialer

For at realisere både reduktionspotentialerne og potentialerne for erhvervsudvikling er der i produktionserhvervene behov for udvikling af energieffektive og skalerbare løsninger på både komponent-, apparat- og systemniveau. Dette gælder f.eks. energieffektive løsninger til at optimere virksomheders produktionsprocesser, produktionssystemer og værdikæder med henblik på at fremme elektriske løsninger og cirkulær ressourceudnyttelse i produktionserhverv.

Der er særlige behov tilknyttet udvikling af højtemperaturvarmepumper og bedre udnyttelse af overskudsvarme samt mulighederne for intelligent digital styring af forbrug og elektrificering af apparatur og køretøjer.

Der er endvidere behov for forskning, udvikling og demonstration i omkostningseffektive løsninger, der kan gøre både eksisterende bygninger og nybyggeri mere energieffektive og mindre CO₂-udledende og fleksible i forhold til energiforsyningen. Herunder er der en række forskningsbehov knyttet til udvikling af mindre klimabelastende materialer og anlægskonstruktioner samt til digitalisering, brug af data og implementering af ny teknologi, som bl.a. kan sikre automatisk og intelligent styring af bygningers energiforbrug. Sidstnævnte kan ligeledes være med til at understøtte udviklingen af et mere fleksibelt energisystem, hvor energiforbruget løbende tilpasses energiproduktionen. Der kan

forskes i skalerbare metoder til renovering, nybyggeri og fjernvarme- og køling, digitalisering, intelligent el- og varmeregulering, integration med vedvarende energi/energisystemet samt fokus på socioøkonomiske aspekter.

Erhvervs- og forskningsmæssige styrker

Produktionserhvervene i Danmark har stærke forskningsmiljøer og består af flere viden-tunge virksomheder inden for effektelektronik, mekatronik samt køling og varmeregulering. Der er desuden en række stærke forskningsmiljøer inden for optimering af produktion- og forsyningskæder på tværs af universiteter og virksomheder og styrker inden for digitalisering. Et stærkt forsknings- og udviklingsmiljø inden for robotter skaber der-til gode forudsætninger for udviklingen af bæredygtig og energieffektiv produktion (Industri 4.0), og flere robotvirksomheder eksporterer til et voksende globalt marked.

Danmark har desuden stærke erhvervs- og forskningsmæssige forudsætninger på bygge- og anlægsområdet og herunder international konkurrencedygtighed inden for produkter og løsninger til energibesparende bygninger og eksport af energi- og klimavenligt byggeri. Det underbygges af stærke forskningsmiljøer på områder som renovering, bygningsdesign, byggematerialer/råstoffer, bygningsenergi og cirkulær økonomi. Dansk forskning inden for energieffektive og intelligente bygninger og energisystemer har en høj specialisering og en meget høj videnskabelig gennemslagskraft - både i forhold til verdensgennemsnittet og dansk forskning generelt².

På globalt plan er der et stort potentiale for at reducere CO₂-udledningen gennem energieffektivisering, hvor danske forsknings- og erhvervsmæssige styrkepositioner og erfaringer giver et godt udgangspunkt for at levere konkurrencedygtige løsninger på energieffektivisering til andre lande, som kan føre til mere eksport, vækst og produktionsarbejdspladser i Danmark.

Fjernvarmesektoren og den tilhørende industri står stærkt internationalt og understøttes af et stærkt forskningsmiljø. Der er endvidere internationalt førende forskning inden for livscyklus- og bæredygtighedsvurderinger samt stærke forskningsmiljøer inden for driftsoptimering, regulering og kunstig intelligens. Forskning i software-infrastruktur er udbredt i forskningsmiljøet og kan mobiliseres til gavn for mange bæredygtighedsinitiativer, og forskningsmiljøer inden for digitalisering og udnyttelse af data om varmekorbrug og -forsyning er under opbygning. Der findes forskningsmiljøer med styrker inden for brugeradfærd.

Internationalt perspektiv

Danske forskere og virksomheder er verdensførende, når det gælder forskning i og løsninger til forbedret energiudnyttelse, og potentialet for internationalt samarbejde samt eksportbaseret vækst og jobskabelse er derfor stort. Energieffektivitet spiller en stor rolle i både EU's nuværende og kommende rammeprogram for forskning og innovation. Rammeprogrammerne finansierer de bedste transnationale samarbejdsprojekter, partnerskaber og missioner inden for bl.a. energieffektivisering og smarte byer og involverer ofte både forskere, virksomheder og offentlige aktører. De danske innovationscentre rundt om i verden fremhæver et særligt potentiale i styrket bilateralt samarbejde med bl.a. USA, Korea og Indien.

² jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

3. Landbrug og fødevareproduktion

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Bæredygtig husdyrproduktion
 - Klima-, miljø- og naturvenlige dyrkningssystemer
 - Bæredygtige proteiner
-

Samfundsudfordringer

Det samlede fødevaresystem, inkl. jorde og skove, skal have reduceret sin netto-klimabelastning markant for at bidrage til de nationale mål om 70 pct. drivhusgasreduktion i 2030 ift. 1990 og et klimaneutralt Danmark i senest 2050. Landbrugs- og fødevaresektoren er en dansk erhvervsmæssig styrkeposition, men samtidig også en sektor med et betydeligt klimaaftryk samt miljø- og naturpåvirkning. Således udgør udledningerne fra landbruget og skovbrug ca. 30 pct. af de samlede udledninger i Danmark i dag og forventes at udlede ca. 37 pct. af de samlede udledninger i 2030 som følge af større reduktion i øvrige sektorer. De væsentligste drivhusgasser inden for landbruget er lattergas og metan, som udgør henholdsvis ca. 43 pct. og 55 pct. af sektorens samlede drivhusgasudledning, mens kuldioxid kun udgør ca. 2 pct. Ligeledes medfører overskuddet af næringsstoffer i landbruget og fødevaresystemet store udledninger af kvælstof til naturen og vandmiljøet. Samtidig er der betragtelige globale drivhusgasudledninger samt miljø- og naturudfordringer forbundet med importen af landbrugsråvarer til Danmark, herunder særligt soja og palmeolie, der bliver brugt som foder i landbrugssektoren. Beregninger fra Københavns Universitet peger på, at den danske import af soja og palmeolie medfører globale udledninger af ca. 7,8 mio. t. CO₂ e årligt, inklusiv udledninger forbundet med direkte ændringer i arealanvendelsen. Skove, træ og andre planteprodukter med lang levetid kan bidrage til binding og lagring af CO₂ over tid. Omlægning af marker fra årlig omdrift til flerårig drift, herunder skov, græs eller energiafgrøder samt udtag og vådgøring af lavbundslande vil kunne spille en central rolle i fremtidens indsats for at nå Danmarks klimamål samt en række andre miljø- og naturmål, bl.a. reduktion af belastningen fra sprøjtemidler til en mere bæredygtig fødevareproduktion.

Forskningsbehov og potentialer

Der er brug for at udvikle teknologier og løsninger, der kan bidrage til en bæredygtig og klimavenlig landbrugs- og fødevareproduktion. Forskning og innovation kan i samspil med regulering og markedstræk understøtte den grønne omstilling med henblik på udvikling af erhvervet. Nøgleelementer i den grønne omstilling er en reduktion af drivhusgasudledninger (særligt metan og lattergas) i alle leddene i fødevaresystemet samt

øget optag og lagring af CO₂ i jord, herunder organiske lavbundsjord, skove samt i træ og andre planteprodukter med lang levetid.

Aktuelt eksisterer der en række kendte virkemidler på området, som vil kunne levere effekt, men der er på nuværende tidspunkt ingen kendte virkemidler, der kan reducere drivhusgasudledningen væsentligt uden store konsekvenser for produktion og indtjening. Der udestår derfor et stort forskningsbehov, hvis landbruget skal levere et væsentligt bidrag til 70 pct.-målsætningen. Der er særligt behov for udvikling af nye løsninger, der reducerer udledning af drivhusgasser fra husdyrproduktionen, særligt metan og lattergas fra kvæg- og svineproduktionen. Der mangler viden om emissioner fra eksisterende staldsystemer og kendte virkemidler til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser, hvilket vanskeliggør tilrettelæggelse af indsatser og opgørelse af reduktionseffekter til nationale opgørelser mv.

Forskningsbehovene retter sig bl.a. mod genetik, avl, sundhed, management og samspil mellem dyrenes fordøjelsessystemer og mikrobiomer på den ene side og foder samt ingredienser og tilsætningsstoffer til foder på den anden side. Dette skal bidrage til løsninger, der kan reducere udledningen af drivhusgasser og negative miljøfaktorer, samt i sig selv med at fødevarer sikkerhed samt god dyrevelfærd og -sundhed sikres.

Derudover udgør forskning i nye og alternative proteinkilder til foder og nye fødevarer produkter et stort potentiale, jf. Det Nationale Bioøkonomipanel's anbefalinger. Forskningen kan bl.a. understøtte produktion og forbrug af kød og mælk uden brug af traditionelle husdyr samt udvikling af nye fødevarer baseret på planter, alger, insekter og andre alternative kilder. Bioraffinering indeholder et stort potentiale i forbindelse med udvikling af nye produkter.

Der også behov for udvikling af en mere klimavenlig planteproduktion, herunder forskning og innovation i nye forædlingsteknikker, videreudvikling af præcisionslandbruget og etablering af nye dyrknings- og gødskningssystemer, som er mere effektive, og som sikrer øget optagelse af hjælpestoffer. Forskningen skal understøtte, at udviklingen af produktive landbrugssystemer bidrager positivt til naturindhold og biodiversitet i de dyrkede marker og landskabet og sammenbinder fragmenterede naturarealer.

Den økologiske produktion indeholder særlige krav, der gør det nødvendigt at udføre forskning, som er specifikt målrettet til at finde muligheder for at mindske klima- og miljøudledningerne i denne produktionsform. Forskningen skal være under hensyntagen til den fortsatte udvikling og efterspørgsel af den økologiske produktionsform, herunder ift. dyrevelfærd og biodiversitet.

Yderligere er der behov for forskning i optag og lagring af CO₂ i vedmasse og andet plantemateriale, i jord med forskellige anvendelser, herunder typer af skov, og hvordan arealanvendelsen, f.eks. skovrejsning, både kan understøtte en høj biodiversitet, beskytte grundvandet og øge lagring i vedmasse, træ og andre planteprodukter med lang levetid. Forskningsbehovene retter sig også mod at styrke viden om lagring af CO₂ i plantemateriale, der er pyrolyseret og omdannet til biokul. Der er endvidere behov for øget viden om emissionsfaktorer for forskellige drivhusgasser ved forskellige arealanvendelser samt udtagning og vådlægning af drænedes organiske jorder. Det er væsentligt at kunne sikre retvisende opgørelser af kulstofpuljerne i de danske skove med henblik på indrapporteringen til FN og EU. Der er behov for forskning i, hvorvidt det klima-, natur- og miljømæssigt er mest hensigtsmæssigt med skovrejsning, energiafgrøder eller

fortsat udvikling af fødevareproduktion på arealer med forskellige produktivitetsniveauer. I den forbindelse skal brugen af de biologiske ressourcer gentænkes, og her spiller bioøkonomien en central rolle for at reducere det samlede pres på klima og miljø, herunder udvikling af bioraffinering med henblik på at øge en flersidig anvendelighed af biomasse samt rest- og sidestrømme.

Der er i bred forstand behov for forskning i en bæredygtig anvendelse af naturressourcerne i forbindelse med landbrug, skovbrug, fiskeri og akvakultur. På fiskeriområdet er der brug for viden, der kan anvendes til at udvikle bæredygtige løsninger og teknologier samt effektiv forvaltning af fremtidens fiskeri og havmiljø. Der er også et behov for udvikling af bæredygtige former for akvakultur, herunder landbaseret akvakultur, og akvakultur af nye alternative organismer.

Erhvervs- og forskningsmæssige styrker

Der er kompetencer inden for landbrugs- og fødevareforskning af meget høj kvalitet på flere universiteter, men kapaciteten er begrænset, og det er afgørende at fastholde og styrke kapaciteten, så de kommende års forskningsbehov på klima- og miljøområdet kan løftes. Danmark står stærkt inden for den grønne og bæredygtige forskning på området, hvor dansk forskning har en høj specialisering og videnskabelig gennemslagskraft – både i forhold til verdensgennemsnittet og dansk forskning generelt³. Danmark har en internationalt konkurrencedygtig landbrugs- og fødevaresektor, og dansk landbrug og fødevareindustri (inkl. ingredienser) fremstår internationalt i top, hvad angår bæredygtighed og klimaeffektivitet. Samtidigt er der i erhvervet en erkendelse af, at der i de kommende år skal sættes yderligere og målrettet på forskning og innovation, anvendelse af nye teknologier, der kan reducere udledningen af drivhusgasser, og fremme af udviklingen af nye bæredygtige fødevarer, fodertyper samt ingredienser. Det danske fødevarerhverv har opstillet en vision om, at erhvervet i 2050 skal være klimaneutralt. Frem til 2050 er der udsigt til en stærk stigning i efterspørgsel efter fødevarer, der er produceret miljø- og klimavenligt. Får erhvervet succes med den grønne omstilling, er der gode muligheder for at fastholde eller øge indtjening og eksport inden for den danske fødevareklynge (landbrug, fødevarer, ingredienser, foder samt landbrugs- og fødevareteknologi).

Danmark har ikke en stor erhvervsstyrke inden for skovbrug. Den årlige hugst i de danske skove udgør ca. 20 pct. af det årlige træforbrug i Danmark, men skovbruget kan huse yderligere forsknings- og demonstrationsprojekter, bl.a. på basis af eksisterende skovforsøgsarealer med langvarige tidsstudier. Danmark har internationalt anerkendte industrier inden for vinduesindustri, isoleringsmaterialer, fiberplader, gulve, møbelindustri og andet, der kan medvirke til udviklingen af træbaserede produkter til den grønne omstilling.

Internationalt perspektiv

Dansk forskning er internationalt konkurrencedygtig, og danske forskere hjemtager eksempelvis en stor del af de konkurrenceudsatte midler gennem EU's rammeprogram for forskning og innovation. I det kommende europæiske rammeprogram for forskning og

³ jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

innovation, Horizon Europe, arbejdes med en række strategiske partnerskaber, som har fokus på fødevarer, naturressourcer, landbrug og bioøkonomi. Som et nyt tiltag i Horizon Europe har man desuden besluttet at oprette en mission vedr. 'Soil Health and Food'. Under bilateralt samarbejde er der potentiale for samarbejde på områder som foder- og fødevarer ingredienser, foder- og fødevarer teknologi, digitalt landbrug, nedbringelse af vandforbrug i fødevarerindustrien og landbrugsproduktionen, husdyrsgenetik mv. De danske innovationscentre rundt om i verden fremhæver potentiale i styrket bilateralt samarbejde om landbrug og fødevarer bl.a. med USA, Israel, Indien og Korea. Europa-Kommissionens 'European Green Deal' og de underliggende 'Farm to Fork' og Biodiversitetsstrategien for 2030 sigter ligeledes på markante nettoreduktioner i de europæiske fødevarer systemers udledning af klimagasser og næringsstoffer, reduktion i anvendelsen af pesticider samt øget kulstofoptag og lagring i land- og skovbrug.

4. Transport

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Klimavenlig transport og logistik
 - Optimering af transportkapacitet og infrastruktur
 - Omstilling af tung transport, international skibsfart og luftfart
-

Samfundsudfordringer

Både i Danmark og globalt er transportaktiviteten stigende og forventes fortsat at stige mange år frem. Den stigende transportefterspørgsel skaber problemer i forhold til at realisere Paris-aftalens mål. I Danmark forventes transportsektoren i 2030 at stå for ca. 1/3 af Danmarks samlede drivhusgasudledninger, hvoraf vejtransporten står for langt størstedelen, svarende til ca. 90 pct. af transportsektorens samlede udledninger. Frem mod 2025 stiger udledningerne ud fra en forventet stigning i transportaktiviteten. Efter 2025 forventes et mindre fald i udledningerne, hvilket primært er drevet af elektrificering af vej- og banetransporten samt en øget effektivisering af køretøjer.

Der er derfor brug for en gennemgående omstilling af transportsektorens energiforbrug. Reduktion af transportsektorens CO₂-udledning i Danmark kan ske gennem henholdsvis nationale, europæiske og globale initiativer. Nationalt handler det i høj grad om at skabe incitamenter til at fremme borgernes og virksomhedernes valg af grønne transportformer, at fremme anvendelse af grønne brændstoffer og at udnytte transportmidlerne mere effektivt. I EU reguleres bl.a. CO₂-krav til lette og tunge køretøjer og krav til infrastruktur mv. Globalt set er der fokus på udvikling af mere energieffektive transportmidler og samtidig optimering af globale logistiksystemer, så energibelastningen pr. transporteret enhed reduceres.

Udviklingen af syntetiske grønne brændstoffer til de dele af transporten, der er teknisk og økonomisk vanskelige at omstille (luftfart, skibsfart, tung langdistancetransport) vurderes at være et område, hvor der er brug for en af de væsentligste forsknings- og innovationsindsatser med henblik på at nedbringe drivhusgasudledningerne fra transporten, jf. missionen om Power-to-X – Grønne brændstoffer og brændsler til transport og industri under temaområde 1.

I tilknytning hertil er der behov for at udvikle en række forskellige løsninger, der kan bidrage til, at det samlede transportsystem bliver mere klimavenligt. Det gælder i forhold til grøn omstilling af transporten herhjemme, men forudsætter også, at Danmark gennem internationalt forsknings- og innovationssamarbejde og demonstration af konkrete løsninger kan yde et bidrag til bæredygtig global transport.

Forskningsbehov og -potentialer

En forskningsindsats kan bl.a. rette sig mod at udvikle løsninger til en grøn omstilling af transporten i form af bæredygtige transportformer, mere effektiv udnyttelse og optimering af transportkapaciteten og infrastrukturen via bl.a. innovative digitale teknologier samt mere viden om transportadfærd, herunder skifte til mere klimaneutrale transportformer blandt borgere og virksomheder, kollektiv transport, nye – f.eks. deleøkonomiske – koncepter og effektiv regulering.

Der kan forskes i udvikling af syntetiske grønne brændstoffer i form af bio- og elektrobrændstoffer til brug i primært den tunge vejgodstrafik samt skibe og fly til transport på længere distancer, der generelt ikke kan forventes på kort sigt at anvende el som drivmiddel grundet batteriers kapacitetsbegrænsninger, og som derfor fortsat vil efterspørge flydende brændsler eller gas. Anvendelse af Power-to-X-teknologier er i den forbindelse lovende, jf. missionen om Power-to-X.

Forskning kan bidrage til udvikling af bæredygtige batterier og styresystemer til f.eks. den internationale bilindustri, som skifter mod elbiler, og herunder bl.a. bidrage til at finde afløsere for de ressourceknappe dele i den nuværende batteriteknologi samt øge batteriernes rækkevidde og reducere opladningshastigheden. Endvidere kan en forsknings- og udviklingsindsats rettet mod virkningen af højdeeffekter (kondensstriber), hvor flymotorernes udslip af vanddamp i høj højde tilskrives en negativ klimaeffekt, bidrage til at mindske luftfartens klimaaftryk.

Derudover forventes forskning at kunne bidrage til en mere effektiv udnyttelse og optimering af transportkapaciteten og infrastrukturen i form af innovative digitale teknologier, der kan anvendes både på tværs af (globale) digitale forsyningskæder og inden for de enkelte transportbrancher med henblik på at optimere disse, f.eks. i form af bedre kapacitetsudnyttelse for lastbiltransporter og intermodale transport (transport af en godsenhed ved hjælp af flere transportformer, f.eks. fra skib til jernbane til lastbil).

Endvidere forventes forskning inden for planlægning, f.eks. via en styrkelse af transportmodeller og vurdering af økonomiske virkemidler, at kunne fremme en lavere vækst i vejtrafikken (f.eks. ved at antallet af rejsende pr. bil øges), en højere vækst i den kollektive transport og tiltag, der kan fremme grøn bytransport.

Forskning i individuel og kollektiv adfærd, f.eks. effekter af økonomisk og andre typer regulering, kan desuden bidrage til at fremme en mere klimavenlig og –neutral adfærd blandt borgere og virksomheder. Indsatsen kan også skabe mere viden om, hvordan et skifte til mere klimavenlige transportformer som f.eks. lav- og nulemissionsbiler, kollektiv transport, cykel m.v. kan fremmes.

Endelig kan forskning bidrage til mere viden om potentialer og barrierer og veje til at nedbryde barriererne for sektorkobling, hvor de forskellige sektorer i energisystemet, herunder transportsektoren samt aftagerne i transporten, integreres og kobles sammen med henblik på at fremme et mere effektivt ressourceforbrug på tværs af sektorerne, f.eks. i form af anvendelse af overskudsvarme og overskuds-el fra vindmøller til fremstilling af grønne brændstoffer.

Generelt kan et tæt samarbejde mellem producenter af transportmidler, offentlige myndigheder og forskningsmiljøerne samt en tværfaglig indsats, der forbinder teknologi med

menneskelig adfærd, forretningsmodeller, økonomi, forbrug, global handel og globale værdikæder, regulering mm., fremme, at regeringens 70 pct.-mål kan realiseres.

Erhvervs- og forskningsmæssige styrker

En målrettet forskningsindsats som understøtter udviklingen af nye grønne transportløsninger, f.eks. klimavenlig skibsfart, indebærer et stort potentiale for vækst, nye produktionsarbejdspladser og styrket konkurrenceevne i den danske transportsektor, idet det kan styrke virksomhedernes muligheder for at indtage nye vækstområder. Om end transportforskningen i Danmark er et mindre forskningsområde sammenlignet med andre lande, har den meget høj videnskabelig gennemslagskraft både i forhold til verdensgennemsnittet og gennemsnittet for dansk forskning⁴.

Danmark har en forskningsmæssig styrkeposition og et erhvervspotentiale i form af store transport- og shippingvirksomheder inden for optimering af transportkapacitet og logistik samt planlægning af infrastruktur via digitalisering. Danmark er et af de lande med den mest avancerede teknologi inden for geografisk positionering og tilgængelighed af geografisk relaterede data – også inden for transporten. Denne styrkeposition har erhvervet taget til sig, om end potentialet er mange gange større.

Klimavenlig adfærd og planlægning samt transportmiddelskifte er også områder, hvor Danmark har en forskningsmæssig styrkeposition. Der er ikke erhvervsstyrker direkte knyttet til klimavenlig adfærd, men der vil være stor interesse inden for mange erhvervsområder i, at der bliver skabt mere viden inden for dette område.

Generelt er der potentiale for mere samarbejde mellem offentlige og private F&U-miljøer på transportområdet. Samarbejdet ligger i dag på et niveau svarende til middel sammenlignet med andre lande, ligesom andelen af patenter ligger lavt.

Internationalt perspektiv

CO₂-udledningerne i transportsektoren er en global udfordring, som kræver internationalt samarbejde og løsninger, der kan anvendes globalt. De danske styrkepositioner inden for transportforskning er et godt udgangspunkt for danske forskeres og virksomheders deltagelse i europæisk og internationalt samarbejde. EU har stort fokus på vigtigheden af at reducere CO₂-udledning i transportsektoren. Det nye Horizon Europe vil finansiere de bedste transnationale samarbejdsprojekter og partnerskaber med dette fokus. Kommissionen lægger samtidig op til en række store EU-partnerskaber for de vigtigste transportformer, hvor Danmark med fordel kan være med. De danske innovationscentre rundt om i verden fremhæver et særligt potentiale i styrket bilateralt samarbejde med bl.a. USA, Korea, Tyskland og Israel om en række områder inden for transportsektoren.

⁴ jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

5. Miljø og cirkulær økonomi

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Bæredygtige vandressourcer og –teknologier
 - Rent havmiljø
 - Luftforurening
 - Sortering, genanvendelse og reduktion af affald
 - Genanvendelse af tekstiler
-

Samfundsudfordringer

Den globale forurening af bl.a. luft, jord og vand, den stigende udnyttelse af jordens ressourcer og de globale klimaforandringer er en udfordring for natur, miljø og menneskers sundhed, ligesom biodiversiteten mange steder er under pres. Der er både i Danmark og internationalt behov for øget viden og miljøteknologiske løsninger, der kan sikre ren luft, ren jord, rent vand, afbøde konsekvenserne af klimaforandringerne samt sikre en mere effektiv og bæredygtig anvendelse af jordens ressourcer.

Danmark er både internationalt og i EU ét af de lande, der har den højeste produktion af affald pr. indbygger. Der er derfor behov for, at vi i Danmark gennem øget brug af cirkulær økonomi nedbringer mængden af affald og genanvender affald, så nye produkter i højere grad produceres af genanvendte og fornybare ressourcer i stedet for fra fossile råvarer.

Plastikaffald er den væsentligste kilde til Danmarks udledning af CO₂ fra forbrænding af affald. Mange plastikprodukter er ikke designet til at kunne genanvendes eller blive brugt flere gange og ender derfor med at blive brændt, selvom det i første omgang var sorteret fra til genanvendelse. Det kan være over halvdelen af plastikaffaldet, der på den måde går tabt og alligevel ender med at udlede CO₂ i et forbrændingsanlæg. Mange tekstiler er fremstillet af eller indeholder plastik og udleder dermed også CO₂, når det forbrændes.

Grundvand bruges i Danmark til drikkevand, og det er en målsætning, at vores drikkevand skal produceres fra renest muligt grundvand og med minimal vandbehandling. Grundvandet leverer også vand til åer og søer, som skal have god vandkvalitet og være levested for dyr og planter. Men både grundvand og vandmiljø er nogle steder udfordret af forureningstrusler. Det er især nitrat og pesticider fra tidligere tiders brug af i dag forbudte stoffer, der udgør et problem for grundvand og vandmiljø.

Overvågningen af grundvandet og af vandforsyningerne, der leder drikkevand ud til forbrugerne er gennem de senere år forbedret og har gjort det muligt at undersøge grundvandet for flere stoffer end tidligere. Det har resulteret i fund af langt flere kritiske mængder af pesticider i grund- og drikkevand, end hvad der hidtil har været kendt. Grundvandet er også udsat for udledningen af andre miljøforurenende stoffer såvel som overskud af kvælstof og fosfor, og Danmark står, som en række andre lande, over for udfordringer i forhold til at sikre en god balance mellem en effektiv fødevareproduktion og et godt vandmiljø.

Danske renseanlæg har gennem en årrække været førende inden for rensning af kvælstof, fosfor og organisk stof samt i forhold til udnyttelsen af slam i biogasproduktion. Fremadrettet er der behov for, at renseanlæggene også kan håndtere rensning for yderligere miljøskadelige stoffer og også i højere grad bliver energi- og ressourceproducerende enheder.

Klimaforandringerne har konsekvenser for både hav og ferskvand og giver store udfordringer både regionalt og globalt. Klimaforandringerne vil f.eks. i stigende grad betyde ekstrem nedbør nogle steder med risiko for oversvømmelser og forurening fra f.eks. overløbne kloak- og spildevandledninger. Der er derfor et behov for fremadrettet at sikre bedre håndtering af regn- og spildevand gennem klimasikring mod skybrud i både byer, bynære områder og det åbne land.

Udendørs luftforurening er en alvorlig global miljøudfordring, der årligt resulterer i menneskelige helbredsproblemer og i mange millioner menneskers død. Derudover giver luftforureningen en række konsekvenser for økosystemer og planteproduktion, ligesom den sammen med drivhusgasserne bidrager til klimaeffekter.

Indendørs udsættes vi også i stigende grad for et komplekst kemisk miljø med en blanding af en lang række flygtige stoffer med kendte og ukendte helbredseffekter, og de senere år er betydningen af den indendørs luftkvalitet for menneskers sundhed kommet mere i fokus. Det gælder ikke mindst betydning af partikler fra stearinlys, mados, brændeovne og byggematerialer, men også ift. mikroorganismer, nano- og plastfibre, kemikalier, virus, bakterier og støv.

Danmark er fortsat udfordret af tidligere tiders jordforurening fra f.eks. industriproduktion mv. Forurening af jorden kan i sig selv gøre de berørte jordarealer ubrugelige i mange år, men kan også være en stor udfordring i forhold til udsivning af miljøfremmede stoffer til grund- og overfladevand, kyster og hav samt omkringliggende områder.

Forskningsbehov og -potentialer

I forhold til bedre brug og genbrug af jordens ressourcer er der behov for mere viden og forskning med henblik på øget brug af cirkulær økonomi. Det kræver forskning, der kan understøtte cirkulære og miljømæssige helhedsbetragtninger, og forskning inden for alle led af produktcirklen fra produktdesign og produktionsprocesser til forbrug, vedligeholdelse, genbrug og ny produktion med anvendelse af genvundne materialer, så produkter, materialer, råstoffer mv. udnyttes bedst og længst muligt. Der er også behov for forskning inden for nye produktions-, forretnings- og forbrugsmodeller, som tilskynder til for-

øgelse af produkters levetid, og som fremmer genbrug gennem incitamenter til reparation, genfremstilling og renovering eller genanvendelse, så materialer kan indgå i nye produkter efter endt brug.

Cirkulær økonomi kan også hjælpe med til, at forbrænding af plastik og tekstil reduceres. Det kræver nye løsninger til design, der både minimerer plastforbruget og sikrer længere levetid af plastikprodukter og tekstil. Der er endvidere behov for forskning i løsninger, som sikrer sporbarhed af de forskellige plastikmaterialer, samt nye løsninger, der kan øge kvaliteten af sorteringen og sikre høj kvalitet i det genanvendte plastik, plastikholdige produkter og tekstiler. Der er endvidere behov for forskning i, hvordan brugen af problematiske kemiske stoffer i plastik udfases. Derfor skal der udvikles nye materialer, teknologier og fremstillingsmetoder, der kan sikre rene plastikprodukter uden farlige stoffer, og som stadig har de ønskede egenskaber – f.eks. til emballering af fødevarer.

De samfundsmæssige udfordringer betyder også, at der er brug for øget viden om forurening af luft, jord og vand og konsekvenserne heraf for miljø, natur og sundhed. Der er behov for forskning til brug for udvikling af nye og bedre miljøteknologiske løsninger med henblik på at mindske udledningen af forurenende stoffer til luft, jord og vand, forbedre rensningen af forurenede luft, jord og vand og udvikle mindre miljøbelastende produkter, materialer, transportformer, bygninger mv., – gerne i et samspil med løsninger til afbødning af konsekvenserne af de globale klimaforandringer.

I forhold til beskyttelse af grund- og drikkevand er der behov for forskning, der kan give en bedre forståelse af, hvordan vandforureningen opstår og spredes, og en bedre forståelse af hvilke konsekvenser vandforureningen har for vandmiljøet og grundvandet. Endvidere er der behov for forskningen inden for nye teknologier og metoder, der kan forhindre udvaskning af miljøfremmede stoffer og rense vandet samt udvikling af bedre analysemetoder og –modeller, der kan hjælpe med at forudsige og måle omfanget af forureningen i grundvandet.

Der er bl.a. behov for mere viden om, hvordan vi mindsker forurening med nano-, mikro- og makroplastik af grund- og drikkevand men også i verdenshavene. Der er således behov for forskning omkring målemetoder til bestemmelse af graden af plastikforurening i danske jorde og overflade- og grundvand samt effekten heraf på jordlevende mikro- og makroorganismer.

Der er også behov for forskning inden for områder, der kan sikre en bedre vandforsyning, vandrensning og udnyttelse af spildevand. Det gælder forskning, der f.eks. kan understøtte udvikling af vandkvalitetssensorer, så man kan sikre en vandforsyning af rent drikkevand rensede for miljø- og sundhedsfarlige stoffer, metoder til brug for blødgøring af det meget kalkholdige danske vand osv. Der er også behov for forskning i metoder til at opnå en energi- og klimaneutral vandsektor f.eks. gennem udvikling af løsninger, der kan udnytte indholdsstoffer i biomasse og spildevand til højværdiformål, sikre øget biogasudbytte på renseanlæg, sikre energieffektivitet, reducere klimapåvirkning fra lattergasemissioner og andre klimagasser fra spildevand, fjerne uvedkommende vand fra kloaksystemer samt sikre mod vandtab i vandsystemerne mv.

Klimatilpasning af byer, kyster og landområder kræver forskning til udvikling af løsninger, der kan håndtere kraftige regnskyl, stigende grundvand, oversvømmede vandløb og stigende havvand. Der er også øget forskningsbehov inden for f.eks. bedre håndtering af

vand- og spildevandsstrømme i byer f.eks. gennem udvikling af digitale løsninger og matematiske modeller til monitorering, prognoser, styring og varsling af vandstrømme i byer, der integrerer kloaksystem, rensningsanlæg og modtagestedet.

I forhold til udendørs luftforurening er der behov for forskning i at udvikle omkostnings- og miljøeffektive metoder til emissionskontrol, sikre en mere detaljeret og specifik overvågning af luftforurening og skabe bedre modellering af lokal og regional luftforurening i høj tidsopløsning. Der er derfor behov for forskning i nye omkostningseffektive teknologier og løsninger, der kan bidrage til bedre rensnings- og partikelmålingsteknologi, samt systemer til monitorering af luftforureningen. Der er endvidere behov for forskning, som belyser vekselvirkningen mellem menneskeskabte og naturlige gasser og partikler i luften, samt hvordan forureningen transporteres i atomsfæren. Der er endvidere behov for forskning i klimaforandrings indflydelse på luftforureningskoncentrationer og positive og negative sideeffekter på luftkvalitet af forskellige klimainitiativer.

Minimering af indendørs luftforurening kræver generelt mere viden om bl.a. udvikling af nye specifikke sensorer og datasystemer, forbedrede ventilationssystemer – herunder naturlige, og luftrensningsteknologier, der recirkulerer rensset luft til lokalet og dermed også reducerer ventilationsbehovet samt afgangning fra forskellige materialer i forbindelse med renovering og nybyggeri. Der er ligeledes brug for mere viden om de indeklimamæssige fordele, der knytter sig til traditionel byggeskik og materialer, og hvordan disse kan integreres i det industrialiserede byggeri. Der er endvidere et stort behov for forskning, som kan give en bedre kvantitativ beskrivelse af omfanget og konsekvenserne af partikelforurening fra f.eks. brændefyring.

I forhold til jordforurening er der derfor generelt behov for forskning til at udvikle bedre metoder til at måle og analysere forureningen og bedre metoder til at afværge og oprense forureningen. Der er bl.a. behov for mere forskningen i, hvordan stærkt forurenede jord renses for forurening på stedet (in situ-jordoprensning), der som oftest vil være et sundhedsmæssigt- og miljømæssigt bedre alternativ til opgravning og deponering af den forurenede jord. Der er også behov for mere viden om nye innovative bæredygtige teknologier baseret på naturmaterialer – f.eks. brug af planter, der kan bruges fremadrettet til at rense forurenede jord, og som samtidig medvirker til øget biodiversitet.

Erhvervs- og forskningsmæssige styrker

Danske videnmiljøer inden for både universiteter og GTS-institutter bedriver forskning og udvikling i verdensklasse inden for området. Forskning inden for bæredygtige vandressourcer og -teknologier er et stort forskningsområde i Danmark, der har en videnskabelig gennemslagskraft på niveau med gennemsnittet for dansk forskning og højere end verdensgennemsnittet. Dansk forskning inden for miljøteknologi og cirkulær økonomi er mindre i omfang, men har til gengæld en meget høj videnskabelig gennemslagskraft – både i forhold til verdensgennemsnittet og dansk forskning generelt⁵.

Også i erhvervslivet har Danmark en markant styrkeposition med globalt potentiale, når det gælder miljøteknologiske løsninger, der sikrer ren luft, rent vand, ren jord og optimal ressourceudnyttelse. Danmark har flere store virksomheder inden for området med

⁵ jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

stærke forsknings- og udviklingsafdelinger i Danmark og en lang række små og mellemstore virksomheder, som arbejder målrettet med miljøteknologi. Samtidig er der blandt danske virksomheder forsøg med organisering af cirkulære økonomiske løsninger, og der er allerede en stor sektor inden for f.eks. traditionelt lineær design, produktion og salg af produkter af plastik og tekstil.

Derudover er den danske offentlige sektor en væsentlig aktør – både som viden- og samarbejdspartner i forhold til udvikling og brug af miljøteknologi og udvikling af cirkulær økonomi.

Internationalt perspektiv

Den store EU-satsning 'Green Deal' og det nye store EU-rammeprogram for forskning og innovation Horizon Europe bliver det vigtigste værktøj til internationalt samarbejde om miljø og bioøkonomi for danske aktører. De danske innovationscentre rundt om i verden fremhæver et særligt potentiale i styrket bilateralt samarbejde inden for miljøområdet med bl.a. Indien, Israel, Sydkorea og Brasilien.

6. Natur og biodiversitet

Mulige fokusområder for forskningsindsatsen

- Effekter af virkemidler til bevaring, genopretning og forvaltning af natur og biodiversitet
- Økosystemers dynamikker
- Klimaforandringer og -tilpasninger, herunder i Arktis

Samfundsudfordringer

Danmark og verden er midt i en biodiversitetskrise, som er forårsaget af menneskets forurening og udnyttelse af naturens ressourcer og arealer, den globale spredning af invasive arter og ændringer i klimaet. Den intensive udnyttelse af det åbne land, skove, kyster og havområder i Danmark har medført, at naturen er fragmenteret og til stadighed udsættes for en lang række presfaktorer, hvilket betyder, at biodiversiteten er i fortsat tilbagegang. Der er nationalt og internationalt fokus på at imødegå biodiversitetskrisen. Den danske regering har taget væsentlige initiativer til at give plads til mere vild natur, der skal give biodiversiteten bedre vilkår i Danmark. EU-Kommissionen præsenterede i maj 2020 et bud på en EU-biodiversitetsstrategi frem mod 2030, og der forventes i regi af FN's biodiversitetskonvention i 2021 at blive truffet beslutning om nye globale mål for biodiversiteten frem mod 2030. De internationale mål vil forventeligt stille krav til forvaltningen af den eksisterende natur, omfanget af beskyttet natur og krav til genopretning af naturlige økosystemer samt bæredygtige driftsmetoder. Der kan være synergimuligheder i varetagelsen af biodiversitetshensyn og klimahensyn, men disse hensyn kan også være i konflikt med hinanden. Der er derfor brug for en balanceret afvejning af mål og indsatser såvel som en vurdering af muligheder for sameksistens og synergi mellem forskellige formål.

Forskningsbehov og -potentialer

Der er behov for forskning inden for naturbeskyttelse og biodiversitet på land, i fersk vand og i havet, herunder effektvurdering af forskellige virkemidler til bevaring, genopretning og forvaltning af natur og biodiversitet samt vurdering af mulige synergier og konflikter med andre samfundsmæssige hensyn. Der er tillige brug for forskning i og udvikling af nye effektive metoder til overvågning af biodiversiteten. Der er behov for grundlæggende forskning i forskellige økosystemers dynamik og betydning i relation til såvel at modvirke fragmentering af habitater som sikring og genopretning af forskellige artsgrupper og naturtyper samt deres modstandsdygtighed over for presfaktorer, herunder klimaforandringer.

På den baggrund er der behov for forskningsbaseret viden om, hvilke konkrete metoder til forvaltning af natur og skov der skal til for at opnå den ønskede effekt for biodiversiteten, samt hvilke følgevirkninger der vil være for miljø, klima og friluftsliv. Der er tilsvarende behov for grundlæggende forskning i de marine og kystnære habitaters økosystemer, idet viden herom er afgørende for succesrig forvaltning og bæredygtig udnyttelse af de marine og akvatiske ressourcer, herunder sameksistens med andre formål, ligesom der er behov for øget forståelse for betydningen af multiple presfaktorer for struktur og funktion af marine økosystemer.

Klimaforandringerne foregår med størst hast i Arktis og Grønland, og der er behov for forskning i klimaforandringer og klimaovervågning i og omkring Grønland, herunder afsmeltning af havis, gletsjere og iskappen, permafrost, samspillet mellem hav og is og påvirkningen af de kystnære økosystemer og Det Arktiske Ocean. Der er et væsentligt potentiale for en øget viden om økosystemers reaktioner på global opvarmning og i at efterforske fortidige drivhusklimaer og hurtige klimaforandringer, hvilket kan bidrage til et bedre videngrundlag for videreudvikling af klimamodeller og initiativer til at imødegå de aktuelle klimaforandringer i Arktis og globalt.

Erhvervs- og forskningsmæssige forudsætninger

Danmark har internationalt stærke forskningsmiljøer inden for natur, biodiversitet og klimaforandringer for såvel terrestriske, ferske og marine habitater. Det stærke link til og samarbejde med Grønland giver Danmark en stærk position til at lede forskning inden for klimaforandringer med global effekt – i et af de mest klimasensitive steder på Jorden. Dansk forskning inden for naturbeskyttelse og biodiversitet har en meget høj videnskabelig gennemslagskraft og andel publikationer med international sampublicering – både i forhold til verdensgennemsnittet og dansk forskning generelt. Også dansk forskning inden for klimaforandringer og –tilpasninger har en høj videnskabelig gennemslagskraft i forhold til både verdensgennemsnittet og gennemsnittet for dansk forskning⁶.

Danmark har gennem de forskellige led i forsknings- og innovationssystemet fra universiteter og GTS-institutter til innovationsnetværk og -klynger gode muligheder for et tæt samarbejde mellem de forskellige aktører om anvendt forskning og innovation inden for bl.a. naturgenopretning, naturforvaltning og monitorering samt forskning i mere bæredygtige og naturvenlige dyrkningsformer og redskaber i bl.a. landbrug, skovbrug og fiskeri. De vigtigste aftagere hertil er staten og kommunerne, større jordbesiddende fonde med naturbeskyttende formål, øvrige grønne fonde, primærerhvervene landbrug, skovbrug, gartneri, fiskeri og akvakultur, rådgivende konsulentfirmaer og en lang række store NGO'ere med fokus på naturbeskyttelse og biodiversitet såvel som en række specialforeninger.

⁶ Jf. Bibliometrisk analyse af Danmarks grønne forskning

Internationalt perspektiv

Danske forskere og virksomheder har gode muligheder for at samarbejde og hente finansiering under EU's "European Green Deal", der i 2020 støtter grøn omstilling, naturbeskyttelse og modvirkning af klimaforandringer. Herefter bliver det nye store EU-rammeprogram for forskning og innovation, "Horizon Europe", sammen med LIFE-programmet de vigtigste værktøjer til internationalt samarbejde om naturbeskyttelse og biodiversitet, bl.a. gennem strategiske partnerskaber og missionerne "Soil Health and Food" og "Healthy Oceans". Et styrket bilateralt samarbejde med udvalgte lande uden for Europa kan desuden give danske forskere og virksomheder adgang til ny og særlig viden, der kan styrke naturbeskyttelse og øge biodiversiteten. Derudover er der en række internationale NGO-baserede partnerskaber, som er væsentlige dataleverandører på internationalt plan, ligesom en række internationale organisationer er vigtige aktører.

7. Bæredygtig adfærd og samfundsmæssige konsekvenser

Temaet om bæredygtig adfærd og samfundsgevinster er tværgående og skal ses i tæt sammenhæng med de øvrige temaer. Der er et særligt potentiale for interdisciplinær forskning, hvor designfaglige, samfundsvidenskabelige og humanistiske metoder og perspektiver kombineres med tekniske og naturvidenskabelige perspektiver.

Samfundsudfordringerne

Danmark har potentiale til at blive et foregangsland i den internationale klimaindsats. Nye teknologier alene vil forventelig ikke kunne nedbringe udledningerne af drivhusgasser til klimalovens 2030- og 2050-mål. For en række udledningsområder vil det være nødvendigt, at befolkningen, den offentlige sektor og virksomhederne ændrer forbrug og adfærd, såfremt målene skal nås. Samtidig står Danmark og verden i en miljø- og naturkrise, som kræver handling på flere fronter. Også her er det centralt med et skift mod mere bæredygtig adfærd. Det gælder bredt inden for alle de produkter og services, vi forbruger – f.eks. inden for transport og forbrug af fødevarer og energi. Ændrede forbrugs- og adfærdsmønstre kan også være en stor del af løsningen på at nedbringe de udledninger, der opstår i udlandet på baggrund af forbrug i Danmark.

En bedre udnyttelse af ressourcer både hos befolkningen, virksomhederne og den offentlige sektor vil ligeledes kunne medføre reduktioner af de udledninger, der er forbundet med produktionen og forarbejdningen af ressourcerne i Danmark og i udlandet, samt mindre belastning af miljø og natur. Samtidig skal der designes og udvikles produkter, der er mere holdbare, lettere at reparere, og som er genanvendelige med en høj kvalitet, når de er blevet til affald.

En markant grøn og bæredygtig omstilling af samfundet skal kunne gennemføres så omkostningseffektivt som muligt, under hensyntagen til klima, miljø og natur såvel som den langsigtede grønne omstilling, bæredygtig erhvervsudvikling og dansk konkurrencekraft, sunde offentlige finanser og beskæftigelse. Omstillingen skal samtidig gennemføres således, at sammenhængskraften og den sociale balance i samfundet understøttes. Dette medfører bl.a. øget behov for nye typer af regulering, planlægning, indkøb og udbud fra den offentlige sektor.

Forskningsbehov og -potentialer

Et centralt element i den grønne omstilling er en mere bæredygtig adfærd. Der er derfor behov for bedre viden om, hvad der skal til for, at borgere, virksomheder, institutioner m.fl. ændrer adfærd i en mere grøn retning, og hvad omfanget af gevinsterne ved adfærdsændringer vil være. Det gælder bl.a. i forhold til de produkter og services, vi forbruger – f.eks. inden for fødevarer, transport, energi og tekstiler. Her kan både valg af mere bæredygtige produkter, genanvendelse og mindre forbrug være en del af løsningen.

Et eksempel er madspild, hvor ændret adfærd kan gøre en stor forskel. Madspild har negative konsekvenser for klima, miljø og jordens begrænsede ressourcer. På verdensplan omfatter madspil ca. en tredjedel af alle de fødevarer, der er produceret med det formål, at mennesker skal spise dem. Det svarer til ca. 8 pct. af verdens samlede udledning af CO₂, eller næsten lige så meget som CO₂-udledningen fra transportsektoren. Forskning kan give ny viden om, hvad der skal til for at understøtte en adfærd, der fører til mindre madspild.

En række forskellige typer af interventioner og mekanismer kan lede til mere bæredygtig adfærd blandt borgere, virksomheder, institutioner m.fl. Ændret regulering og regelstyring, kvoter, skatter og afgifter er nogle af de mekanismer, der kan lede til en ændret adfærd. Men adfærd kan også påvirkes via 'blødere' indsatser såsom uddannelse og øget oplysning, anvisning af konkrete handlemuligheder og målrettede værktøjer, anvendelse af "nudging" samt udstilling og anvendelse af data om adfærd, klimaaftryk.

Der er behov for forskning i, hvilke indsatser der virker inden for forskellige områder. Der er behov for at estimere effekter og omkostninger ved forskellige former for indsatser, ligesom der er behov for viden om forskellige befolkningsgruppers respons på interventioner i forhold til varigt at ændre adfærd, holdninger og vaner.

Inden for den offentlige sektor, er der bl.a. behov for viden om, hvordan klima-, miljø- og naturhensyn indarbejdes omkostningseffektivt i den offentlige regulering, forvaltning og planlægning på tværs af sektorområder, f.eks. inden for forvaltningen af landarealer, vandarealer, skove og naturområder, bysamfund, bygninger, forsyningssystemer og – infrastrukturer, transportsystemer mv. Ligeledes er der behov for viden om, hvordan bæredygtige hensyn indarbejdes i den offentlige efterspørgsel, herunder udbud, indkøb, kontraktforhold samt bygnings- og anlægskonstruktioner. Der er endvidere behov for viden om, hvordan dilemmaer og balance mellem forskellige hensyn kan håndteres, f.eks. mellem klima- og miljømæssige, økonomiske, sundhedsmæssige og etiske hensyn.

Der er tilsvarende behov for viden om, hvordan virksomheder kan udvise mere klima-, miljø- og naturvenlig adfærd i deres aktiviteter, f.eks. i indkøb, produktion og distribution. Der er hertil særligt behov for viden om, hvordan der kan udvikles nye produkter og services samt forretningsmodeller, der er mindre klima-, miljø- og naturbelastende fra valg og vurdering af stoffer og materialer, design og produktion til forbrug og genanvendelse i den cirkulære økonomi.

Der er store samfundsmæssige konsekvenser ved en øget klimaindsats og forbedret miljø- og naturbeskyttelse. Der mangler dog fortsat viden om det fulde omfang af såvel udfordringer som gevinster, og hvordan de bedst realiseres. Der er behov for forskning, der giver ny viden om samfundsgevinster ved en bedre klimaindsats og miljø- og natur-

beskyttelse. Der er bl.a. behov for mere viden om de folkesundhedsmæssige konsekvenser af forurening og forbedret miljøbeskyttelse med heraf følgende renere luft, jord, vandmiljøer og drikkevand, f.eks. ift. cancer og nedsat fertilitet. Der er også behov for yderligere viden om samfundsøkonomiske og folkesundhedsmæssige konsekvenser af bedre muligheder for friluftsliv og naturoplevelser, bl.a. ift. psykiske sygdomme så som depression og stress.

Erhvervs- og forskningsmæssige forudsætninger

Dansk forskning inden for klimavenlig og mere bæredygtig adfærd er relativt fragmenteret, men af høj kvalitet inden for eksempelvis transportadfærd og energiforbrug. Der findes relevante forskningsmiljøer med baggrund i psykologi, sociologi, antropologi og andre former for adfærds-/kulturforskning, der fokuserer på individuel såvel som kollektiv adfærd. Endvidere har flere Godkendte Teknologiske Serviceinstitutter i en årrække arbejdet med forskning og innovation inden for adfærd bl.a. i relation til energi, transport og affald.

Der er stærke kompetencer i Danmark inden for forskning i indarbejdelse af klimahensyn i regulering og planlægning.

Inden for bedre ressourceudnyttelse findes en række relevante forskningsmiljøer på flere universiteter. Det gælder f.eks. et internationalt førende miljø inden for minimering af ressourceforbrug og spild ved hjælp af operationsanalyse, der arbejder tæt sammen med erhvervslivet. Herudover findes internationalt førende forskere i bæredygtigheds-vurderinger, som gennem en årrække har rådgivet virksomheder samt nationale og internationale myndigheder om bæredygtige teknologier.

Ændringer i adfærd og forbrug blandt borgere, virksomheder og den offentlige sektor kan styrke markedet for grønne løsninger og dermed innovation i dansk erhvervsliv inden for et meget bredt felt af erhvervsområder. Det forventes derfor, at der inden for mange erhvervsområder vil være interesse i at skabe mere viden om bæredygtig adfærd og forbrug.

Danske designvirksomheder har et stort potentiale, hvad angår at fremme af bæredygtige løsninger, og designfagligheden i virksomhederne kan understøttes forskningsmæssigt, både hvad angår nye designmuligheder, og hvad angår designtilgange og metoder.

I forhold til samfundsgevinster ved forbedret miljø- og naturbeskyttelse er væsentlige aftagere af forskningsresultater bl.a. interesseorganisationer, skovejere, staten, kommuner, skoler og virksomheder, der arbejder med bæredygtige produkter og miljø- og naturskånsomme tiltag, såvel som større konsulentfirmaer, der udfører konkrete miljø- og naturprojekter.

Internationalt perspektiv

Under EU's nye rammeprogram Horizon Europe får danske forskere bl.a. adgang til at deltage i partnerskaber med stærke internationale forskningsmiljøer, der får stor indflydelse på forskningsdagsordenen på området. F.eks. det kommende EU-partnerskab

"Sustainable, Smart and Inclusive Cities and Communities". Fælles for de nye missioner under Horizon Europe er desuden, at der vil være et meget stort fokus på borgerinddragelse og adfærd. Der er også perspektiver i et styrket samarbejde med lande uden for Europa. Under det bilaterale samarbejde med lande uden for Europa kan der opstå behov for forskning i og formidling af f.eks. de adfærdsmæssige konsekvenser af regulering fra offentlige myndigheder for virksomheder og husholdninger i byer og på landet.

Appendiks: Forbehold vedr. skøn over tekniske reduktionspotentialer

Skønnene for de tekniske reduktionspotentialer, der er angivet i tre af missionerne, skal tages med en række forbehold.

De angivne reduktionspotentialer er skøn for de tekniske muligheder for at reducere drivhusgasudledningen med de angivne teknologier. Der tages ikke højde for teknologiens omkostninger i vurderingen af disse tekniske potentialer, men blot hvad der i teorien er teknisk muligt. Vurderingen forholder sig derfor ikke til konkrete virkemidler for at realisere potentialerne. Reduktionspotentialerne skal udelukkende give et billede af de tekniske og teoretiske muligheder for, at teknologierne og løsningerne kan reducere drivhusgasudledningen. Reduktionen skal ses i forhold til udviklingen i Basisfremskrivningen 2020 (inkl. tiltag i klimaplanerne for energi, industri og affald) i året 2030. Dog skeles der (fx i CCS og PtX's tilfælde) til, hvilke langsigtede anvendelser af teknologien der vurderes hensigtsmæssig ift. kendte alternativer.

Det skal understreges, at skønnene er behæftet med stor usikkerhed både i forhold til effekt, dokumentation og udbredelsespotentiale. Der er ligeledes overlap mellem potentialerne. Der skal derfor tages et forbehold i forhold til realiseringen af potentialet.

Uddybning af de tekniske reduktionspotentialer:

- CCS: De angivne tekniske potentialer tager udgangspunkt i punktkilderne i Basisfremskrivningen (hvilket er behæftet med usikkerhed) og fordeler sig på kraftvarme- og varmeværker, affaldsfyrede værker, industrien og biogasanlæg. Potentialet er særligt følsomt over for indsatser, der sigter på at reducere brændselsforbrug eller CO₂-emissioner på punktkilderne.
- Power-t-X: Potentialet er underlagt betydelig usikkerhed, men det vurderes mest sandsynligt, at Power-to-X vil finde anvendelse inden for de forbrugssegmenter, hvor alternativerne til at reducere CO₂-udledninger er ukendte eller begrænset i omfang. Derfor ses der i potentialevurderingen bort fra brændselsforbrug til opvarmning og industri og fokuseres i stedet på mulige tekniske potentialer inden for transportsektoren. Det antages, at der er tilstrækkelig VE-strøm og el-infrastruktur tilgængelig. Ydermere antages det, at der er tilstrækkelig biogen kulstof tilgængelig, således at anvendelsen af Power-to-X-brændstoffer ikke udleder CO₂. Det bemærkes, at der er et overlap i potentialet med potentialet for CCS.
- Plastik: Det er nødvendigt med en forskningsmæssig indsats for at opnå visionen om at fjerne 80 % af plastaffaldet fra forbrændingen i 2030 og dermed fjerne ca. 53.000 tons plastikaffald ud over reduktionen i aftalen om en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi. Det er denne vision og reduktion, som er lagt til grund i beregningen af reduktionspotentialet.
- Biogas: Reduktionspotentialerne er baseret på en forudsætning om, at biogasproduktionen kan øges med ca. 9 PJ; ud over den forventede biogasmængde i Basisfremskrivningen 2020 og tiltagene i klimaaftalen. Størrelsen af denne mulige merproduktion af biogas er forbundet med væsentlig usikkerhed. Eventuelle overlap med andre initiativer er ikke vurderet.