

INPUT TIL DIALOG OM DET NØDVENDIGE KULSTOFKREDSLØB 2025



DaCES arbejdsplan for kulstof har udarbejdet dette notat i regi af DaCES arbejdsgruppe for systemintegration med Aksel Nordvig Ladegaard, teknisk konsulent i DaCES, som projektleder og Rasmus Bramstoft, adjunkt, DTU, der er forperson for arbejdsgruppen for systemintegration.

DANSK CENTER FOR ENERGILAGRING (DaCES)

Danmark skal være førende inden for forskning, udvikling, anvendelse og integration af energilagringsteknologier, som er konkurrencedygtige på et globalt marked og bidrager til at reducere verdens klimaafttryk.

DaCES er et neutralt og uafhængigt forum, der arbejder for at sætte retning for forskning, uddannelse og innovation inden for energilagring og -konvertering. Vi er en medlemsdrevet og netværksbaseret organisation, der samler aktører i et ligeværdigt, fagligt orienteret interessefællesskab.

Vi arbejder på tværs af energilagringsteknologier og faglige discipliner som natur-og ingeniørvidenskab, matematik, samfundsvidenskab, økonomi og humaniora mv. Formålet er at skabe samarbejder, netværk og partnerskaber, der samler forskningsmiljøer og virksomheder i at bidrage til at løse store samfundsudfordringer og reducere vores afhængighed af fossile brændstoffer.

DaCES arbejdsgrupper

DaCES leder og faciliterer fire tekniske arbejdsgrupper inden for termisk lagring, batterier, PtX og systemintegration samt en arbejdsgruppe, der arbejder med uddannelse. Herudover er vi involveret i en række specialiserede undersøgelser inden for energilagring og konvertering.

For medlemskab: www.daces.dk

DaCES er støttet af Novo Nordisk Fonden.

Disclaimer

DaCES har eneansvaret for notatet, som ikke nødvendigvis afspejler de enkelte medlemsorganisationers egne holdninger, men er udviklet på baggrund af input og diskussioner i arbejdsplanen for kulstof.

DACES’ INPUT TIL DIALOG OM DET NØDVENDIGE KULSTOFKREDSLØB

Kulstof er et af de vigtigste grundstoffer i vores moderne samfund. Det indgår i alt fra vores energiproduktion til vores brændstoffer, byggematerialer, polymerer, kemikalier og fødevarer. En stor del af kulstoffet kommer i dag fra fossile kilder, som i de kommende år skal udfases, hvis vi skal nå de danske og internationale klimamål og holde os inden for de planetære grænser.

Det kan kun lade sig gøre, hvis vi omlægger vores behov for kulstof generelt ved at ændre og reducere vores forbrug af kulstof. Samtidig skal vi udvikle bæredygtige alternativer til de kulstoftunge produkter og processer. Og der, hvor kulstoffet ikke kan eller bør undlades, skal det udvindes bæredygtigt fra kulstofkredsløbet, hovedsageligt fra biogene kilder. Derudover skal vi også fjerne det kulstof, vi har tilført kulstofkredsløbet gennem årene, med arealanvendelsesændringer, fangst og lagring.

Bæredygtigt, biogent kulstof er dog en begrænset ressource både i Danmark og globalt. Forøgelsen af biogent kulstof har mange afvejninger i forhold til andre målsætninger og behov. Dertil er det vigtigt at overveje brugen af importeret biomasse, samt kulstofholdige produkter. Fangst af kulstof kan være med til at lette afvejningerne og løse eventuelle forskelle, men fangst direkte fra luften er stadig en ny og dyr løsning, og rollen for Direct Air Capture (DAC) i fremtiden er stadigvæk uvis.

Vi må derfor være omhyggelige med at kortlægge og forklare, hvor vi kan hente det grønne kulstof og hvordan vi bedst anvender det i fremtiden. Her skal vi sætte fokus på hele værdikæden – fra kulstofressourcer, over teknologier og infrastruktur, til hvor og hvordan kulstoffet skal anvendes, eller om det skal lagres. I DaCES’ arbejdsplan for kulstof ønsker vi at bidrage til debatten ved at gennemgå eksisterende studier der belyser behovet for kulstof i Danmark, hvor et udsnit ses i figuren herunder. Gennemgangen skal belyse nogle af effekterne af de mange forskellige analyseforudsætninger, vinklinger og antagelser, der anvendes i de eksisterende analyser, da det har ledt til forskellige resultater og forståelser i den danske debat.

På baggrund af denne gennemgang vil vi fremlægge en række input til dialogen om en national kulstofstrategi. Dette notat udspringer af konferencen Kulstof 2025 i maj, som DaCES arrangerede i samarbejde med Triangle Energy Alliance og Food & Biocluster Denmark. På konferencen blev nogle input til en national kulstofstrategi fremlagt. Notatet er dermed en videreudvikling og uddybning af disse input.



¹ Bredt talt her, det samme gælder andre fangstteknologier såsom fx DAC.

GENNEMGANG AF EKSISTERENDE STUDIER RELATERET TIL KULSTOF

Vi vil her gennemgå nogle af de mest velkendte og aktuelle danske studier om energiomstillingen, der er udgivet indenfor de sidste tre år. Formålet er at sammenligne udvalgte scenarier og forklare effekterne af forskellige analyseforudsætninger. Det er vigtigt at identificere og belyse de vigtigste kilder, der kan lede til uklarheder i den eksisterende kulstofdebat, da de har stor betydning for resultater, konklusioner og tilhørende anbefalinger til at udvikle en national kulstofstrategi.

RAMMEVILKÅR	RESOURCE	I vores arbejde har vi identificeret fire fokusområder, som, vi vurderer, er særligt vigtige at belyse i en kommende kulstofstrategi for Danmark; 1. rammevilkår og politiske målsætninger, 2. tilgængelige ressourcer, 3. hvor skal kulstoffet bruges, 4. og hvilke teknologier er vigtige.
• Politiske målsætninger • Emissions målsætninger • Selvforsyningshed • Sektorer som er inkluderet • Import/Eksport	• Biomassepotentialer • Arealanvendelse	
TEKNOLOGI	BRUG AF KULSTOF	
• Teknologiske veje • CC(U)S • DAC, DOC • Biomasseforøgelse • Cirkulære og kaskade udnyttelse • Infrastruktur	• Hvilke sektorer anvender kulstof? • Brændstoffer? • El & varme? • Andre produkter: plast, træ, kemikalier, mm.?	

Disse punkter er væsentlige i kulstofdebatten og er blevet belyst i tidligere analyser. Det er vigtigt at anvende en helhedsorienteret og systemisk tilgang til hele kulstofværdikæden, når vi drøfter kulstoffets fremtidig rolle. Det er et komplekst system med mange interaktioner - og en ændring et sted i værdikæden påvirker de efterfølgende led.

Vi vurderer, at disse fire fokusområder belyser de overordnede rammer og dernæst hele kulstofværdikæden fra ressourcer over teknologi til forbrug. I tillæg til gennemgangen af de fire fokusområder giver vi også et bud på en sammenfatning af nøgletallene fra de eksisterende nationale analyser for et større overblik på tværs af disse studier. Vi gør opmærksom på, at denne tabel kun er vejledende og naturligvis kan udvides med flere detaljer og analyser.

HVAD ER VORES UDGANGSPUNKT FOR EN STRATEGI?

De overordnede rammebetingelser, principper og system/analyseafgrænsning² danner grundstenene for en analyse, dens resultater, konklusioner og anbefalinger. Det er vigtigt at tage udgangspunkt i de nuværende nationale politiske aftaler og beregningsmetoder, men når det gælder udvikling af en fremtidig kulstofstrategi, er det naturligvis også lige så vigtigt at tage højde for at disse kan ændres over tid. Tidligere analyser over kulstofbehov har derfor også haft forskellige afgrænsninger, hvor nogle analyser hviler på de nuværende danske politiske aftaler, og andre går et eller flere skridt videre.

I vores optik er det vigtigt at belyse et større udfaldsrum og scenarier. Fx med inddragelse af klimamål, der går udover de territoriale emissioner. Særligt inddragelse af international transport og produkter kan give en mere robust strategi, da det kan bidrage til en rettidig udvikling af de nødvendige teknologier.

Hertil kommer argumentet om, at den danske klimalov ikke er et produkt af en detaljeret opgørelse af klimabelastninger – men handler om at tage ansvar for vores andel af en bæredygtig planet. En strategi skal kunne rumme begge: Både en opfyldelse af nuværende forpligtelser og være forberedte på et større ansvar og omstilling.

Målsætningen om klimaneutralitet eller netto negative udledninger?
Den danske regering har fremsat et ønske om at skærpe Danmarks 2050-mål fra 100% til 110% reduktion i forhold til 1990-niveau, samt at fremrykke målet om klimaneutralitet til 2045. De negative udledninger kan bl.a. opnås gennem CO₂-fangst og -lagring fra afbrænding af biogene kilder eller direkte fra luften (DAC), samt ved skovrejsning eller lagring af biokul. Løsninger, der er dyre, kræver meget plads og/eller er uafprøvede i stor skala.

Målsætningerne for klimaneutralitet eller netto-negative udledninger er vigtige rammer for, hvordan kulstof anvendes på den bedst mulige måde. Disse målsætninger har ændret sig henover årene og vil fortsat ændres frem mod 2050. Klimarådet har undersøgt forskellige udviklingsveje (strukturel- eller teknologisk omstilling) til at opnå klimaneutralitet eller netto-negative udledninger i 2050. Den grønne Tænk tank Concito har udarbejdet en tilsvarende analyse, mens IDA har anvendt klimaneutralitets-målet 2045. Akademiet for Tekniske Videnskaber (ATV), har baseret deres analyse på 110% reduktioner i 2050 [1].

Studierne viser alle en øget brug af negativt udledende teknologier og/eller tiltag, såfremt de danske klimamål bliver skærpet og dermed et øget fokus på teknologiudvikling i form af DAC-CCS eller biomasseafbrænding med CCS (bioenergi med kulstofs fangst, BE-CCS).

Hvad med Danmarks udledninger fra international transport, plastik, kemikalier og andet forbrug?
Udgangspunktet er Parisaftalen, den internationale klimaaf tale fra 2015 som Danmark og resten af verden arbejder ud fra. Aftalen dækker de territoriale udledninger, og medregner ikke enkelte landes forbrugsudledninger fra importerede varer, eller deres andele af international transport.

For Danmark overgår forbrugs- og internationale transportudledninger, dets territoriale udledninger – hvilket skærper vigtigheden af et ambitiøst klimamål, særligt i betragtning af Danmarks historisk høje udledninger. Det giver yderligere et ansvar for at forske i og udvikle teknologiske og strukturelle løsninger. Rammebetingelser og beregningsforudsætningerne for udledninger kan blive ændret over tid, lige som det også drøftes, hvorvidt udledninger (fx attribueret via brændstof bunkering) relateret til international transport skal inkluderes. Klimarådet har for nylig fremlagt anbefalinger om, at Danmark også tager ansvar for international transport. Ydermere inkluderer flere og flere studier international transport ([2], [3], [4], [5]).

² Også ofte kaldt scope.

Kompensation af udledninger fra andre sektorer, fx landbrug

Da ikke alle Danmarks territoriale udledninger kan elimineres, vil et mål om 100-110% reduktion i 2050 kræve kompensation med negative udledninger. Det gælder primært emissioner fra landbrug og måske i mindre grad fra affald og industri. Størrelsen af kompenseringen med negative udledninger afhænger mest af udviklingen for landbrugets arealanvendelse. Disse har derfor en direkte indvirkning på mængden og typerne af biogent kulstof, vi har tilgængeligt, og hvor det bruges bedst. Det påvirker direkte behovet for CCS, CCUS og DAC.

Import, eksport eller selvforsynende - hvad vil Danmark og med hvilke produkter?

Danmark har igennem mange år importeret træpiller til afbrænding. Selvom denne biomasse handles på det globale marked, så er Klimarådet klar i deres anbefaling om, at Danmark ikke bør være netto-importør af biomasse eller biobrændstoffer. Rådet peger også på, at de danske klimamål ikke skal opfyldes ved at lagre importeret kulstof, da det globale potentiale for biogent kulstof ikke er tilstrækkeligt til at opskalere strategien i andre lande. Hertil kommer at Danmark har et globalt højt biomassepotentiale – hvilket bør begrænse behovet for import.

Danmarks planer for om hvorvidt grønne brændstoffer skal netto-importeres, netto-eksporteres eller selvforsynes har dermed en stor betydning for, hvordan den nationale kulstofressource skal benyttes. Yderligere bliver det meste plast og kemikalier allerede importeret i dag.

Danmark bør også her afklare, om man ønsker at ændre dette. Selvforsyning har store effekter på ressourcetrækket fra den bæredygtige kulstof – samt store økonomiske og industrielle betydninger. Hvis Danmark fortsat ønsker at opretholde import, bør de danske myndigheder også overveje om dette niveau er bæredygtigt, og hvordan man i øvrigt forventer, at kulstof til plastik og kemikalier skal tilvejebringes og produceres i fremtiden.

En kulstofstrategi handler om det nødvendige kulstofkredsløb

De forskellige nævnte analyser peger på, at der er flere veje frem mod målet, og de sådan set alle er rigtige og mulige. Det ultimative krav til det nødvendige kulstofkredsløb er, at det skaber balance mellem kulstof-behov (dvs. forbrug) og kulstof-levering uden belastning af atmosfæren.

Dette kan man gøre i en lang række forskellige kombinationer af:

1. Reduceret og ændret forbrug.
2. Konvertering til ikke-kulstof-baserede løsninger (fx el, eller ammoniak som brændstof).
3. Løsninger, der bruger atmosfærisk kulstof (fx CCU baseret på DAC).
4. Løsninger, der resulterer i negative emissioner, til at kompensere fortsatte udledninger og fjernelse af historiske emissioner.

Alle disse elementer er internt forbundne, så desto mere vi agerer på en af disse kombinationer, jo lettere slipper vi for de andre og omvendt. Hvis vi havde uhæmmet adgang til atmosfærisk kulstof, behøvede vi ikke en strategi. Men det har vi ikke, da bl.a. energiforbruget og prisen forventes at blive meget høj. Det er baggrunden for, hvorfor vi peger på at Danmark har brug for en kulstofstrategi. Det kan sammenlignes med din privatøkonomi, hvor du skal balancere behov, forbrug og ønsker over for værdi, indtægt og mulig levering.

BIOMASSERESSOURCER

Danmark har både skov- og landbrug og derfor en relativ stor mængde biomasse til rådighed sammenlignet med tilgængelighed af biomasse i EU og globalt. I EU er det estimeret til omkring 14-21 GJ/person per år [6], hvor det globalt estimeres til cirka 10 GJ/person per år³. De fleste studier for Danmark antager omkring 20-25 GJ/person per år til energi og materialer. Dertil kommer biomassen der bruges til føde, foder mm., som inkluderes i nogle studier. Især Rasmussen et al. undersøger sammenhængen imellem tilgængelighed af biomasse i forskellige scenarier. Her justeres det, hvordan arealet anvendes, hvilke afgrøder der dyrkes mm. hvilket direkte påvirker mængden og typen af biomasse, føde, foder mm.

Det er derfor vigtigt at være klar i beskrivelsen af, hvilke biomasseressourcer, der er tilgængelige i Danmark og hvilke forbrug de skal tilfredsstille. Tilgængeligheden af bæredygtig biogent kulstof samt andre kulstofkilder har betydning for hvilke og hvor store mængder af energi, brændstoffer, materialer med mere, vi kan fremstille. Det er muligt teknisk at forøge biomassen, men samtidigt er der behov for en afvejning af, hvilke mål man ønsker at opnå med biomasse og arealanvendelsen. De forskellige typer af biomasse har forskellige effekter og værdier i deres produktion, og forskellige anvendelsesmuligheder. Det kunne fx være træ som bygge- og lagringselement i bygninger kontra energiafgrøder, der bedre kunne være anvendt til diverse biobrændsler og konvertering med henblik på lagring.

Og hvad er bæredygtigt kulstof?

Vi forklarer ikke her udtømmeligt, hvad bæredygtigt kulstof er. Vi vil blot sige, at bæredygtigt kulstof er brug og fremskaffelse af kulstof, der minimerer flytningen fra lagre til atmosfæren og maksimerer fjernelsen af CO₂ fra atmosfæren. Klimaneutralitet opnås, når mængden der udledes også optages – og dermed er i balance, hvor klimapositivitet kræver, at der fjernes mere CO₂ fra atmosfæren end der tilføjes. [8]

Dette indebærer, at meget biogent kulstof ikke er bæredygtigt, hverken i klimasammenhæng eller på en lang række øvrige parametre, fx vandforurening og biodiversitet. En netto klimapåvirkning fra biogent kulstof kan fx komme, hvis skovfældning til energiformål går hurtigere, end den kan optage kulstoffet igen. Det selvsamme gælder også DAC og andre fangstteknologier. Hvis der ikke er tilstrækkeligt med vedvarende energi, kan brugen medfører en nettobelastning.

Teknologiske veje og brug af kulstof

Der findes mange teknologiske veje, der kan medvirke til, at Danmark opnår sine klimamålsætninger. Dertil kan en strukturel omstilling ved eksempelvis omlægning af landbruget også bidrage betragteligt, særligt da det kan have store effekter på arealanvendelse og import [9].

Såfremt de danske målsætninger omfatter udledninger inden for Danmarks grænser, så vil der ikke nødvendigvis være behov for, at kulstof allokeres til fx. grønne brændstoffer til international transport. Men balancen bliver mere kompliceret, når flere forbrug skal opfyldes.

Der er brug for at undersøge og forske meget mere i udviklingspotentialer for teknologier, der kan levere negative udledninger – især hvis Danmark skal opnå 110% reduktion sammenlignet med niveauet for 1990. Størrelsen af biomasse, CCS og DAC varierer i de forskellige studier, vi refererer til her, men fællesnævneren er, at der er behov for udvikling på området, hvis vi skal opnå 5-10-15 eller højere MT-CO₂ fangst og evt. lagring. Det kræver, at hele værdikæder bliver etableret og at den nødvendige infrastruktur bliver bygget. Det er derfor vigtigt at vurdere behov og prioritering af en infrastruktur til kulstof.

³ Hvis det globale bæredygtige biomasse potentiale er 100 EJ og vi befolkningen er 10 milliarder [7].

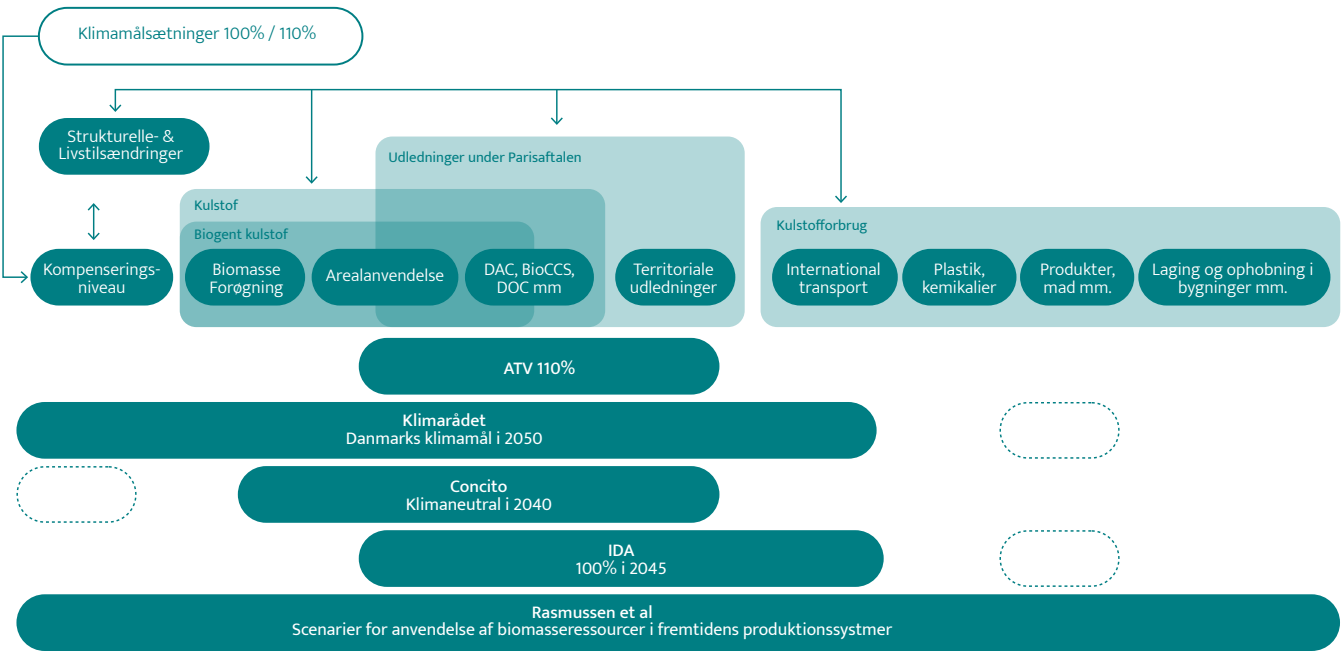
Sikkerhedsperspektiver i en national infrastruktur til kulstof

Ved samfundets overgang fra fossile til biogene og cirkulære kulstofkilder bliver der skabt et behov for ny infrastruktur og langt større håndtering af kulstof i flere former, særligt CO2, hvilket indebærer forskellige udfordringer og risici. Sikkerhed spiller en stor rolle i udformningen af en national kulstofstrategi og skal inddrages på tværs af alle elementer i en strategi. Det gælder produktion, opbevaring og håndteringen af fx biogene brændsler. Eksempelvis kræver syntetiske kemikalier og CO2-fangst strenge sikkerhedsprocedurer for at minimere ulykker, udslip og eksponering for skadelige stoffer.

Etableringen af infrastruktur til transport og lagring af kulstof bør ske med fokus på modstandsdygtighed over for uheld. Sikkerhed er derfor ikke blot et teknisk anliggende, men i høj grad et spørgsmål om processer, oplæring/træning og menneskelige faktorer som en forudsætning for at udvikle et sikkert og bæredygtigt energi- og kulstofsystm til fremtiden.

Der findes en lang række kendte risici ved CO2, som kan opdeles i transport, opbevaring, lagring og anvendelse. Det er muligt at mitigere dem og opnå en tilfredsstillende sikkerhed for både personale, beredskab og lokalbefolkning. Det er særligt vigtigt, da CO2, ift. andre gasser i vores energisystem, indebærer unikke risici, da det bl.a. er tungere end luft, og hverken har farve eller lugt.

Se uddrag af risici i appendiks: “Risici ved håndtering af CO2”.



Figur 1 er et forsøg på en overskuelig sammenfatning af de forskellige analysers udfaldsrum. Det er en markant forsimpeling, og de fleste analyser medfører væsentlig eksport af energiprodukter, som biogas, el og brint. Dertil kommer diverse kulstofholdige-produkter som mad m.m..

Antagelser

Tabel 1 giver et overblik over de analyser, vi har anvendt i denne rapport, og de markante forskelle i input og output som de forskellige analyser når frem til. De fleste af disse analyser har en række scenarier, og derfor vises der spænd. En central pointe er, at de væsentlige forskelle i potentialet for biomasseressourcen har meget markante effekter på behovet for DAC og CCS – men med de forskellige systemafgrænsninger er effekten svær at påvise.

	Klimarådet	ATV	IDA	Rasmussen /U. Jørgensen/H. Wenzel	Concito
	Danmarks klimamål i 2050	Carbon 110%	IDAs Klimasvar 2045	Scenarier for anvendelse af biomasseressourcer i fremtidens produktionssystemer...	Et scenarie for: Dansk klimaneutralitet i 2040
Målsætning (reduktioner ift. 1990)	100% og 110% i 2050	110% i 2050	100% i 2045	100% i 2050	100% i 2040, 110% i 2050
Scope	Territoriale Emissioner. Scenarier for: +International transport	Territoriale Emissioner	Territoriale Emissioner + international transport	Territoriale Emissioner + international transport + plastik kemikalier + biomasse bygninger + andet + ny føde & foder	Territoriale Emissioner
Biomasse resource-potentiale	120-155 PJ, 20-25 GJ/person	Ikke angivet	117-140 PJ 20-23 GJ/person	103-167 PJ til 17-28 GJ/person. Til energi og materialer Øvre grænse for biomassemateriale: 223-308 PJ 37-51GJ/person	113 PJ 19GJ/person ekskl. eksport. 174 PJ, 29 GJ/person Inkl. eksport.
DAC, MT-CO2	4,2-9,2 MT 0 MT i scenarier med ny hverdag.	11,2 MT i hovedscenarie Afhængig af de forskellige scenarier: 0-11,2-24,4 MT	2,0 MT	9,6-10,2 MT i scenarierne for BIOzero	1,0 MT (2040)
CCS, Ton	4,2-12,8 MT		7,2 MT	16,0 MT BIOzeroMethanol	5,5 MT (2040)



SÅDAN BØR VI TÆNKE VED UDFORMNING AF EN NATIONAL KULSTOFSTRATEGI

Baseret på ovenstående gennemgang af en række centrale danske analyser inden for kulstof ønsker vi at fremlægge en række forslag, vi vil opfordre de danske beslutningstagere til at tage med i deres overvejelser til udarbejdelse af en ambitiøs kulstofstrategi for Danmark

Hvad betyder rammevilkår og målsætninger for Danmarks kulstofstrategi?

De overordnede principper, rammer og målsætninger vil have en indflydelse på, hvordan vi bedst muligt udnytter det bæredygtige kulstof i fremtiden. De politiske klimamålsætninger i Danmark, men også globalt, inkluderer i dag fx ikke international transport eller andre materialer, kemikalier mm. Dertil kommer også dilemmaer angående hvilke produkter og ressourcer, vi vil tillade at importere og eksportere, eller som vi bør være selvforsynende med. Fx importerer vi i dag store mængder træbiomasse til energiformål. I stedet kunne man lave den forudsætning, at Danmark kun må benytte bæredygtig, nationale biomasseressourcer. Dertil kan man diskutere, hvad der skal gælde for grønne brændstoffer, plastik, fødevarer, kemikalier og høj-værdiprodukter. Endelig bør man tage stilling til, hvordan vi omstiller os strukturelt og teknisk, så vi samtidig reducerer behovet for bæredygtigt kulstof generelt.

Det internationale behov for biogent kulstof er estimeret til at være højere end det globale biomassepotentiale, hvilket kan føre til højere priser i fremtiden. Dertil vil en dansk strategi bygget på import af biogent kulstof være udfordret af, og følsom over for prisen på de globale markeder.

Det er vigtigt at have en grundig forståelse af disse overordnede rammer og principper som en forudsætning for udformningen af kulstofstrategi. Man skal også være opmærksom på, at målsætninger kan ændre sig over tid, så analyserne bør indeholde løsninger og scenarier for et større udfaldsrum. Det kunne være scenarier med fx inklusion af international transport, inklusion af plast, kemikalier eller større mængder af negative udledninger, mm.

Hvor, hvornår og hvordan bør det grønne kulstof anvendes bedst muligt?

Det grønne kulstof kan bruges som byggesten til mange forskellige produkter såsom el og varme, grønne brændstoffer, byggematerialer, plastik, kemikalier, høj-værdi produkter mm. Alt afhængig af rammevilkår og målsætninger kan sektorer som fx den internationale transport blive analyseret. Flere af de gennemgåede studier har set på muligheden for, at Danmark kan blive selvforsynende med grønne brændstoffer til fly og skibe. Såfremt biogent kulstof anvendes til at producere grønne brændstoffer til fly og til skibe, øger man ressourcetrækket på den bæredygtige nationale biomasse. Andre analyser belyser, hvorvidt Danmark bør producere grønne brændstoffer til fly eller om brugen af fossile brændsler skal fortsætte, men kompenseres af biomassebaseret CCS.

Disse to teknologiske udviklingsveje er vigtige at overveje, da de munder ud i to forskellige systemer og strategiske forskningssatsninger. Der kan dog være brug for begge samtidigt og/eller på forskellige tidspunkter i den grønne omstilling. Hvis andre sektorer bliver inkluderet i analyseforudsætningerne, såsom plastikproduktion, så øges behovet for grønt kulstof. Danmark bør derfor grundigt overveje, hvilke produkter, vi skal producere inden for landets grænser og hvilke vi skal importere eller eksportere.

Hvor store biomassepotentialer er der, hvordan skal de udforskes og hvilke konsekvenser er behæftet med ændringer i potentialer?

Flere studier analyserer hvilke og hvor meget større mængder bæredygtig biomasse, vi har til rådighed i dag, og hvordan de potentielt kan forøges i fremtiden ved fx at anvende nye typer af afgrøder. Dertil kommer udviklingsscenarier og overvejelser vedrørende arealanvendelse, biodiversitet, skovdyrkning, dyrehold mm. Disse scenarier påvirker de nationale, bæredygtige biomasseressourcer i forskellig grad. Hvilket betyder, at der er forskellige potentialer, alt efter hvilken ressource, man kigger på, og ligeledes potentialerne der findes for hvor mange kulstofbaserede produkter, der kan produceres i Danmark.

Det er vigtigt grundigt at overveje udnyttelsen af Danmarks arealer, samt hvilke tiltag der kan anvendes til at forøge biomasseproduktionen. Dertil er det også afgørende, at vi er opmærksomme på hvilken biomasse vi producerer og hvilke produkter, denne biomasse kan anvendes til. Endelig er det væsentligt, at vi udvikler bæredygtige (skalerbare) løsninger.

Teknologiske udviklingsbehov og forskningsstrategiske satsninger

Baseret på dette notat er der klart brug for en række teknologiske udviklingsbehov samt strategiske forskningssatsninger.

Først og fremmest er der behov for helhedsorienterede og systemiske analyser af det samlede nationale kulstofkredsløb og værdikæder, der kan udgøre basis for en kulstofstrategi samt understøtte strategiske beslutninger.

Igennem vores analyse har vi set på behovet for udvikling og senere implementering af både biomasse med CCS, DAC CCS samt andre teknologier eller tiltag (såsom arealanvendelsesændringer, fx skovrejsning) som kan generere negative udledninger. Dertil kommer også CCU som et element, hvilket afhænger af Danmarks rolle i at producere grønne brændstoffer og produkter.

Rettidig omhu for fangst, brug og lagring er også vigtig. Det er vigtigt, at vi benytter et langsigtet perspektiv for at opnå de bedste udnyttelsesveje for kulstof på sigt. Vi forudser et behov for en fortsat forskningsindsats inden for forskellige teknologiske udviklingsveje, da den gyldne løsning ikke findes. Det bliver en blanding af teknologiske løsninger som kan bane vejen for, at vi kan nå klimamålsætningerne til gavn for vores samfund og klima. Mængderne afhænger af strategien, men der er ikke nogen “kvik fix strategi” der kan overflødiggøre nogen af dem. Det gælder DAC, CCS, VE, CCU, brint, CO2-infrastruktur og mere.

Det er nødvendigt at fortsætte en åben og gennemsigtig debat om fremtidens kulstofkredsløb. En kulstofstrategi vil kunne bidrage til at guide beslutningstagere i de vigtige spørgsmål inden for fremtidens kulstofkredsløb og hvordan kulstoffet bliver brugt bedst muligt til gavn for det danske samfund og vores fælles fremtid.

Nødvendige elementer i en strategi

Teknologi, politik, forskning, regulering mm. er nødvendige elementer og muliggørende forudsætninger, der bør indgå i en strategi. For hvis vi fortsat ønsker at flyve, som vi gør i dag, stiller det krav til compensation, nye flyveteknologier, grønne brændsler eller mindsket forbrug andet sted. Der skal foretages hårde prioriteringer – eller aktive satsninger.

Strategien skal udvikle et større udfaldsrum, vi kan navigere i, for at lykkes med omstillingen og give et bud på, hvilke værdier vi vil tage med, når der skal prioriteres og satses. Det er værdier, der kommer på baggrund af en åben og demokratisk dialog, med udgangspunkt i en fælles, helst kvantitativ, forståelse af vores samfund.

Nuværende danske analyser bruger forskellige målsætninger, afgrænsninger og antagelser – hvilket gør det svært at granske effekterne af diverse tiltag.

Vi anbefaler, at flere analyser tager udgangspunkt i de samme afgrænsninger, baggrundsdata mm., så vi kan sammenligne og have en mere konstruktiv dialog om, hvad en kulstofstrategi for Danmark skal indeholde.

REFERENCER

[1] “Carbon 110 % | ATV.” Accessed: Aug. 29, 2025. [Online]. Available: <https://atv.dk/temaer-projekter/projekt/carbon-110>

[2] H. Lund, B. Vad Mathiesen, J. Z. Thellufsen, M. Kany Strunge, and I. Ridjan Skov, “IDAs Klimasvar 2045: sådan bliver vi klimaneutrale,” 2021. Accessed: Jun. 12, 2025. [Online]. Available: <https://ida.dk/om-ida/idas-maerkesager/groen-omstilling/klimasvar/idas-klimasvar-2045-se-rapporten>

[3] C. Rasmussen, E. Ø. Mortensen, H. Wenzel, M. Ambye-Jensen, and U. Jørgensen, “Scenarier for anvendelse af biomasseressourcer i fremtidens produktionssystemer for fødevarer, energi og materialer inden for rammerne af gældende politik for landbrug, miljø, klima, natur og energi”.

[4] M. S. Lester, R. Bramstoft, and M. Münster, “Analysis on Electrofuels in Future Energy Systems: A 2050 Case Study,” Energy, vol. 199, p. 117408, May 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117408.

[5] R. Bramstoft, A. Pizarro-Alonso, I. G. Jensen, H. Ravn, and M. Münster, “Modelling of renewable gas and renewable liquid fuels in future integrated energy systems,” Appl. Energy, vol. 268, p. 114869, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114869.

[6] E. Comission, “A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy,” European comission, Brussels, 2018. Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773>

[7] H. Chum et al., “IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation,” Camb. Univ. Press Camb. U. K. N. Y. NY USA, 2011.

[8] C. Beier, “- et forsøg på at skabe fælles forståelse for CO2’s kilde, cirkulation”.

[9] “Danmarks klimamål i 2050 | Klimarådet.” Accessed: Aug. 23, 2024. [Online]. Available: <https://klimaraadet.dk/da/analyse/danmarks-klimamaal-i-2050>

APPENDIX

Risici ved håndtering af CO₂

Der er lang række kendte risici ved CO₂, som umiddelbart kan opdeles i transport, opbevaring, lagring og anvendelsen. De risici bør analyseres ved brug af HAZID og HAZOP risikostudier for en sikkerhedsanalyse, der inkluderer alle sikkerhedselementer samt alle menneskelige faktorer. Risikostudierne skal sikre omfattende uddannelse af personaler i disse industrier, samt krisehåndteringsplaner. Det er håndterbare risici, men det kræver tid, fokus og borgerinddragelse for at skabe den sociale accept.

1. Risici ved transport og overjordisk lagring af CO₂ (rørledninger, lastbiler, skibe):

- **Lækager fra rørledninger:** CO₂ er tungere end luft og kan akkumulere i lavninger, hvilket medfører kvælningssfare for mennesker og dyr.
- **Tryksprængning:** Komprimeret CO₂ transporteres ofte under højt tryk; rør- eller beholderbrud kan føre til eksplosiv udblæsning.
- **Korrosion i rør:** Især ved tilstedeværelse af vanddamp, hvilket kan føre til svækkelse og utilsigtede udslip.
- **Trafikulykker:** Transport i tankvogne medfører risiko for uheld, især i tæt befolkede områder.

2. Risici ved opbevaring af CO₂ (underjordisk – CCS):

- **Brud på forseglende geologiske lag:** Risiko for, at CO₂ siver op fra undergrunden, hvilket kan være svært at opdage i tide.
- **Langtidspåvirkninger:** Utilstrækkelig monitorering kan føre til uopdagede lækager over tid.
- **Syredannelse:** CO₂ reagerer med vand til kulsyre, som kan skade omkringliggende geologiske strukturer og øge mobiliteten af tungmetaller.

3. Risici ved anvendelse af CO₂ (f.eks. til EOR, industriel anvendelse eller syntese):

- **Eksplosionsfare i lukkede systemer:** Hurtig trykstigning ved fejlfunktion eller varmeudvikling.
- **Ufuldstændig proceskontrol:** Ved industriel brug kan CO₂ lække fra ventiler eller proceslinjer.
- **Personfarlige arbejdsmiljøer:** Arbejde i nærhed af CO₂ kræver avanceret overvågning og ventilation, da det er lugtfrit og ikke kan detekteres uden udstyr.
- **Kryogen risiko:** Flydende CO₂ har ekstremt lave temperaturer og kan give forfrysninger ved direkte kontakt.

Anbefalinger og fokusområder

Samling og kortfatning af de mest relevante anbefalinger og fokusområder fra de omtalte analyser anvendt her. For yderligere detaljer henvises der til selve rapporterne.

ATV 110%

- | | |
|---|---|
| 1. Giv borgerne medindflydelse. | 4. Invester mere i forskning og udvikling inden for CCUS nu. |
| 2. Sæt tempo på udfasning af CO ₂ -emissioner. | 5. Udvikling af solid backbone til transport af CO ₂ . |
| 3. Markedet skal udvikles. | 6. Anvend en holistisk og systemisk tilgang. |

CONCITO

1. Danmark kan blive klimaneutral allerede i 2040.
2. Dansk klimaneutralitet i 2040 kræver umiddelbare beslutninger med langtrækkende virkning.
3. Dansk klimaneutralitet i 2040 kan samtidig bidrage væsentligt til omstillingen i vores nabolande.

Heriblandt:

- a) Eksport af grøn strøm, brint og grøn gas
- b) Stop for vores nettoimport af biomasse
- c) Tilvejebringe infrastruktur til lagring af CO₂ fra udlandet
- d) Eksport af klimavenlige fødevarer

CONCITO's sektorspecifikke anbefalinger:

Energisektoren:

1. Reguleringsmæssige rammer der muliggør udbygning af hele det danske potentiale for vindkraft og solceller før 2040.
2. Udbygning af infrastruktur til transport og eksport af strøm og brint samt transport og lagring af CO₂.
3. Incitament til negative udledninger, så CO₂ fra affaldsforbrænding, industri og biogasopgradering lagres.

Industrisektoren

1. Politisk garanti for en høj CO₂-afgift, så industrien får sikkerhed for, at investeringer i omstilling kan betale sig.
2. Rammer for udbygning af elnettet, der sikrer hurtig tilslutning af virksomheder, der ønsker at elektrificere.
3. Tilskud til lagring af biogen CO₂ fra virksomheder, så der både er incitament til at skifte til grønne brændsler og bruge CCS.

Klimarådet:

- | | |
|---|--|
| 1) Skærpet territorielt klimamål. | 5) Langsigtet strategi (areal planlægning, international transport, koordinering og udbygning af energiinfrastruktur (el, brint og CO ₂)). |
| 2) Klarhed om mål. | |
| 3) Mål for international transport. | |
| 4) Biogent kulstof: <ol style="list-style-type: none">a) Fødevarer og foder, sørg for at have produktionsoverskud af fødevarer og foder i energi.b) Bioenergi.c) Arealer til natur. | 6) Offentlig diskussion om kommende forandringer. |

Klimarådets fremtidige arealanvendelse. Klimarådet 2024

1. Vi kan se frem til et ændret landskab.
2. Der er behov for en helhedsorienteret regulering.
3. Geografisk udpegning skal tage hensyn til vandmiljø, biodiversitet og drikkevand.
4. Tilskud og projekter skal målrette indsatsen.
 - a. Øget udtag af landbrugsjord.
 - b. Tilskud til frivillige indsatser.
 - c. Krav om brug af fx bestemte teknologier.
 - d. Betinget udbetaling af landbrugsstøtte.



SUPPORTED BY
**novo nordisk
fonden**



ISBN 978-87-974889-8-0