



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

CCUS: SÅDAN BLIVER DANMARK KLAR TIL DET GRØNNE ERHVERVSEVENTYR

RAPPORT

**TEKNOLOGISK
UDSYN**

Nr. 1 · Oktober 2023

Teknologisk Udsyn giver en oversigt over den seneste udvikling på et teknologifelt med betydning for Danmarks fremtid. Vi giver et indblik i aktørlandskaber og fremtidige tendenser, Danmarks aktuelle position samt anbefalinger til samfundets implementering. Teknologisk Udsyn udgives fire gange om året.

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup

Teknologisk Udsyn Nr. 1 · Oktober 2023
Forfattere: Stig Yding Sørensen, Jan Boyesen, Teknologisk Institut.
Kristian Kriegbaum Jensen, Emil Højbjerg Thomsen,
Nikoline Olesen, Teknologisk Institut.

ISSN 2794-6320



GLOBALT MOMENTUM FOR CARBON CAPTURE, UTILIZATION AND STORAGE - CCUS

Indhold

Executive Summary	4
CCUS-teknologi reducerer klimabelastningen	7
Nyt dansk økosystem af virksomheder er engageret i CCUS	15
Internationalt udsyn: Science, teknologi og marked	33
Science	33
Teknologi	39
Marked	43
Teknologisk institut rådgiver om CCUS	50
Bibliografi	52
Tre hovedpointer	55

EXECUTIVE SUMMARY

CCUS: Sådan bliver Danmark klar til det grønne erhvervseventyr

Fangst, lagring og udnyttelse af CO₂ (også kaldet CCUS) er et afgørende værktøj til at opfylde Danmarks 70-procentsreduktionsmål i 2030. Der er stadig et stykke vej før, Danmark har en egentlig CCUS-industri, men vi er et af de førende lande, når det gælder forskning, teknologiudvikling og ambitioner vedrørende CCUS. I dag er der et erhvervs-mæssigt økosystem med 200 aktører, som står klar til at indfri politikernes seneste ambitioner om fangst af 34 millioner tons CO₂ over de næste 15 år.

For at kunne nå det mål, vil det kræve tiltag, der understøtter udviklingen af økonomisk bæredygtige og attraktive forretningsmodeller for CCUS-aktørerne, en fortsat finansiering af forskning og udvikling, adgang til viden og fælles test- og demonstrationsfaciliteter samt styrket koordinering i CCUS-økosystemet.

Der er allerede gode takter i den brede politiske aftale om styrkede rammevilkår for CCS i Danmark fra september 2023. Her fastlægger aftalepartierne – udover klarere rammevilkår – en samlet økonomisk udbudspulje på 26,8 milliarder kroner. På tværs af de politiske aftaler er der nu samlet afsat ca. 38 mia. kroner. Det vil bidrage til, at Danmark kan indfri ambitionen og potentielt eksportere dansk knowhow til resten af verden.

Dette resume giver et kort overblik over hovedresultaterne i Teknologisk Udsyn¹ om CCUS, hvor Teknologisk Institut har indhentet viden fra en række af de 200 aktører i det danske økosystem for CCUS – fra store internationale firmaer, til lokale virksomheder, underleverandører, rådgivere og organisationer; danske og udenlandske kilder og databaser – og med bibliometri og tech-mining kortlagt, hvor CCUS er på vej hen lige nu.

Danmark står i en stærk udgangsposition ift. teknologisk innovation og markedsaktiviteter, men lande som USA, Canada, Norge, UK og Australien er stadig foran. Danmark er ikke alene om CCUS. USA ligger i front, når det gælder videnskab, teknologisk innovation og investeringer. Andre ledende lande er Canada, Norge, UK og Australien. Udviklingen er drevet af offentlige tilskud og skatte- og afgiftsstrukturer verden over, for der er endnu ikke tilstrækkeligt med kapacitet eller incitament hos de aktører, der kan indfange, transportere, lagre eller udnytte CO₂.

Teknologisk Institut har identificeret mere end 200 aktører i det danske CCUS-økosystem: Fra store internationale firmaer, til lokale virksomheder, underleverandører, rådgivere og organisationer.

Teknologiske knaster: Fortsat behov for teknologisk udvikling

I et survey foretaget af Teknologisk Institut i foråret 2023 peger alle dele af økosystemet på, at der er teknologiske knaster, der skal løses i varierende grad. Det gælder alle trin i teknologisk udvikling fra grundforskning og forsøg til test og demonstrationsfaciliteter:

Skalering og effektivisering

Den overordnede udfordring vi skal overkomme for at indfri ambitionerne, er skalering og effektivisering af teknologien. I betragtning af klimakrisens omfang og den globale interesse for CCUS, vil det netop være på teknologi, at danske virksomheder kan satse på at skabe eksport af knowhow og hardware.

Udviklingen af CCUS foregår i statsfinansierede projekter. Det gælder i hele verden, og i vores survey med alle dele af økosystemet i Danmark udtrykker virksomhederne grundlæggende usikkerhed omkring forretningsmodellerne bag anlæggene. Det kræver stor risikovillighed hos investorer, der ikke kan være sikre på timing for investering og mulige afkast. Det Internationale Energiagentur ser de samme økonomiske udfordringer som aktørerne i det danske økosystem: Det kommercielle overskudspotentiale ligger ude i fremtiden; til dels fordi prisen på CCUS per ton CO₂ endnu ikke opvejer CO₂-afgiften per ton i langt de fleste lande.

Alle venter på alle

En økonomisk barriere er fx ”hønen og ægget”-problematikken: For CO₂-udledere er der omkostninger forbundet med at etablere et indsamlingsanlæg, og det er risikofyldt, hvis der ikke er en transportinfrastruktur i form af rør og skibe og lagringsfaciliteter, der kan håndtere den indsamlede CO₂. Omvendt er der omkostninger ved at etablere rørledninger, hvis der ikke er indsamlet CO₂.

De tre indsatsområder

Analysen bag det Teknologiske Udsyn leder derfor frem til tre indsatsområder, der vil kunne flytte Danmark op i den absolutte CCUS-top:

1. Sikre økonomisk stabile forretningsmodeller

Udviklingen drives af offentlige investeringer, fordi aktørerne mangler incitament til at investere i CCUS. Det vil derfor kunne skubbe udviklingen i den rigtige retning, hvis Danmark indfører tiltag, der understøtter udviklingen af økonomisk bæredygtige og attraktive forretningsmodeller for CCUS-aktørerne. I den seneste politiske aftale indgår det-

te i nogen grad med fx langsigtede projekter og kontrakter med garanterede priser. Tiltag udover direkte støtte kunne fx være ændringer i skatte- og afgiftsstrukturer, der tilgodeser CCUS-projekter, eller nye internationale standarder, der reducerer risikoen for fejlinvesteringer.

2. Investér i teknologiudvikling

Fra alle dele af CCUS-økosystemet peges der på uløste teknologiske udfordringer og behov for effektivisering. I takt med udbygningen vil der være behov for fortsat teknologiudvikling. Dette inkluderer finansiering af forskning og udvikling, samt adgang til viden og fælles test- og demonstrationsfaciliteter. Teknologiudvikling med fokus på effektivitet, ressourceforbrug og skalérbarhed på globalt plan vil gavne alle led i CCUS, og i længden både forbedre økonomien bag CCUS og eksportpotentialet for dansk knowhow og teknologi.

3. Koordinering i CCUS-økosystemet

Aktørerne venter på hinanden i CCUS-økosystemet. En stor risiko ved investeringer i CCUS betyder, at målene kun nås med offentlig finansiering. Dette gælder især på infrastrukturens side. Offentlig finansiering kræver en koordineret tilgang for at minimere redundans, fremme synergier og skabe en mere effektiv implementering og drift af CCUS-teknologi. Den politiske aftale fra 20. september 2023 lægger op til stærkere koordinering, og med betydelige økonomiske incitamenter kan udviklingen accelereres, fordi markedet selv i højere grad kan finde balancen.

¹ Læs mere her: www.teknologisk.dk/teknologiskudsyn

“ ATTRAKTIV KLIMA LØSNING

CCUS-TEKNOLOGI REDUCERER KLIMA- BELASTNINGEN

CO₂-opsamling, lagring eller anvendelse af CO₂ (CCUS¹) er en attraktiv løsning til at reducere udledningen af drivhusgasser både globalt og i Danmark, og den kan mindske udledningerne fra sektorer som affaldsforbrænding og cementproduktion, der ellers har svært ved at mindske klimabelastningen.

CCUS åbner også for muligheden for negative emissioner, der sænker CO₂-koncentrationen i atmosfæren, hvis CO₂ fanges fra biogene kilder som biogas eller biomasseafbrænding eller direkte fra luften. Den indfangede CO₂ kan ydermere bruges til at lave fremtidens cirkulære plastmaterialer samt brændstoffer til luft- og skibsfarten ved at blande det fangede kulstof med brint produceret af grøn elektricitet (Power-to-X-teknologier).

CCUS-teknologier er ikke ny teknologi; de er udviklet og forbedret over lang tid. I Texas har man fx praktiseret CCS i mere end 50 år i forbindelse olieudvinding (University of Houston, 2019), hvor CO₂ indsprøjtes i undergrunden for at øge udvindingen. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet skriver i et fakta ark, at vurderes at være plads til at lagre mellem 12 og 22 mia. ton CO₂ i den danske undergrund. Det svarer til mellem 400 og 700 gange Danmarks årlige CO₂-udledninger. Samtidig forventes

en stigende efterspørgsel på CO₂-lagringskapacitet i Danmark (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet).

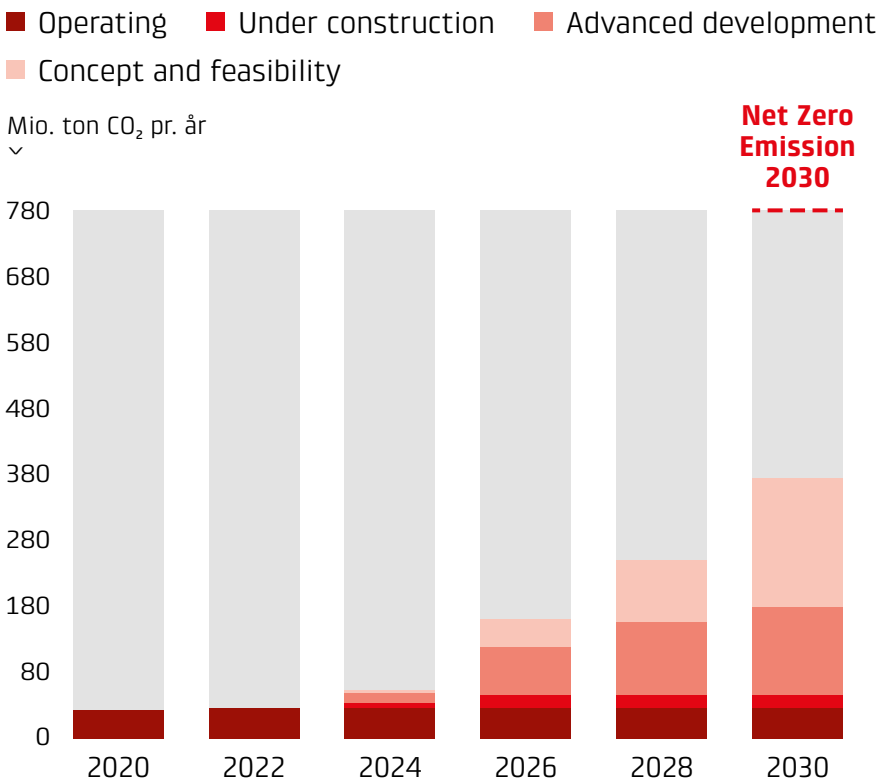
Interessen for CO₂-opsamling, lagring og anvendelse stammer fra forskellige forsknings- og udviklingsprojekter, der har strakt sig over flere årtier og er blevet stadig mere intensiveret. De første bestræbelser på at undersøge CO₂-opsamling og -lagring (CCS) begyndte i 1970'erne og 1980'erne som reaktion på bekymringer om klimaændringer og stigende udledning af drivhusgasser. I løbet af 1990'erne og 2000'erne blev der investeret yderligere i forskning og udvikling af CCS-teknologier. Denne udvikling blev drevet af erkendelsen af, at CCS kunne spille en vigtig rolle i at reducere CO₂-udledningen fra store punktkilder, såsom kraftværker og industrielle faciliteter.

I de senere år er interessen for CCUS-teknologier steget yderligere, da fokus er udvidet til at omfatte

¹ Carbon Capture, Utilization, and Storage.

INDFANGNING AF CO₂ - GLOBAL FREMSKRIVNING

Verdens Carbon Capture kapacitet opgjort i megaton CO₂ pr. år fremskrevet af IEA.



ikke kun opsamling og lagring, men også anvendelse af CO₂. Dette inkluderer mulighederne for at om-danne den indfangede CO₂ til værdifulde produkter såsom kemikalier, brændstoffer og byggematerialer. Dette skift i fokus er delvist drevet af fremskridt inden for teknologi og forskning samt et øget behov for at finde bæredygtige og økonomisk rentable løsninger på klimaændringer.

Siden 2018 er interessen for CCUS som en del af løsningen på klimakrisen steget voldsomt. Det Internationale Energiagentur peger på, at det var amerikanske skattefordele ved indfangning af CO₂, som kick-startede interessen i CCUS (IEF International Energiforum, 2023).

Siden har der globalt været en stigende politisk og økonomisk støtte til CCUS-teknologier,

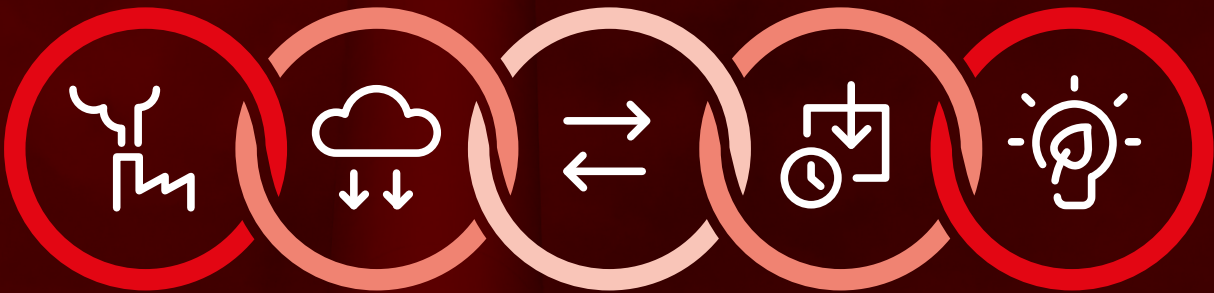
hvilket har ført til flere demonstrationsprojekter og kommercielle implementeringer. Interessen for CCUS vil sandsynligvis fortsætte med at vokse, i takt med at lande og virksomheder arbejder på at nå deres klimamål og overgangen til en cirkulær økonomi.

I dag fanges der verden over 45 mio. tons CO₂, per år og IEA vurderer med de planlagte anlæg at verden i 2030 indsamler omkring 380 mio. tons CO₂, hvilket stadig er et stort skridt fra nå de mål, som IEA har sat i deres Net Zero Emission scenario (NZE) for 2030.

I figuren øverst er CCUS-værdikæden opgjort ved hjælp af IEA's CCUS-projektdatabase. Tallene viser, hvor meget CO₂ der indfanges af forskellige led i kæden fra indfangning til lagring projekt for pro-

CCUS VÆRDIKÆDEN

Fangst, lagring og anvendelse af CO₂



Kilder	Fangst	Transport	Lagring	Anvendelse
Kilder til CO₂ Energiproduktion Kul, gas, biogas, naturgas, olie, biomasse Sværintustri Cement, jern og stål Kemisektoren Ammoniak, syntetiske brændstoffer Olieraffinaderier	Fangst af CO₂ Direkte fra skorstene Fx. forbrændingsanlæg eller cementfabrik Fra luften Ikke fra en specifik kilde Biologisk Fx ved genplantning af træer Mineralsk Fx fangst i beton	Transport af CO₂ Rørledninger Over eller under jorden eller på havbunden På landjorden Fx lastbiler og tog Skibe	Lagring af CO₂ Geologisk Nedlagte olie, og gasfelter, saltvandsmagasiner Mineralsk I mineralske produkter som fx beton Biokul (biochar) Forkullet restmateriale fra biomasse	Anvendelse af CO₂ Kemisk omdannelse Til fx polymerer, brændstoffer, byggematerialer, solventer Biologisk omdannelse Til fx carboxylsyrer og ingredienser til foder og fødevarer

Kilde: Teknologisk Institut

jekt. Tallene er opgjort for projekter med en kapacitet på +100.000 tons CO₂, der er kørende i 2023 (Seneste data er fra februar 2023). Desuden er det opgjort hvor meget CO₂, der kan maksimalt kan forventes indsamlet i 2030 – der kan dog nå at komme flere projekter til i mellemtiden. Tallene for Danmark indgår i beregningen, men på globalt plan er bidraget relativt lille, så det er vanskeligt at aflæse i tabellen. Grafen viser, at i der 2023 er der ganske få projekter, men der er erfaringer med "full chain", dvs. projekter der omfatter kæden fra indfangning til lagring, og der er eksisterende, operationelle transportsystemer. Det foregår primært i USA.

For 2030 er der forventninger om langt mere, og indsatsen i Europa og den øvrige verden bliver mere synlig. Det værd at bemærke, at der, især i Europa, er planer om at udvide infrastrukturen til transport af CO₂. Det kan være både skibe, rør, hubs og andet.

Danmark har været aktivt engageret i udviklingen af CCUS-teknologier som en del af den overordnede indsats for at bekæmpe klimaændringer og reducere drivhusgasudledningerne. Danmark har gennem-

ført forsknings- og udviklingsprojekter inden for CCUS og deltaget i internationale samarbejder om teknologiudvikling og politik.

Den danske regering har, august 2023, en ambition om at Danmark skal indfange og lagre mindst 3,2 mio. tons CO₂ i 2030 (Dansk Industri, 2023).

IEA's database har ikke alle danske projekter noteret, men IEA nævner Ørsted, Vestforbrænding, og ClimAid, Trelleborg / Fyrkat samt Bifrost og Greensand. Der er investeringer flere steder, og lagre er under forberedelse. Teknologisk Institut har registreret 20 projekter i Danmark, som indtil videre repræsenterer en samlet investering på 1,2 mia. kr. Enkelte projekter er afsluttet, og andre kører flere år frem. Nogle projekter har fokus på den fulde kæde, mens andre fokuserer på indfangning, transport eller lagring.

Der er endnu ikke lagret CO₂ i den danske undergrund udover i mindre pilottests. De første tilladelser til at lagre CO₂ i undergrunden i større skala blev givet i 2023 (Klima-, Energi- og Forsyningsministe-

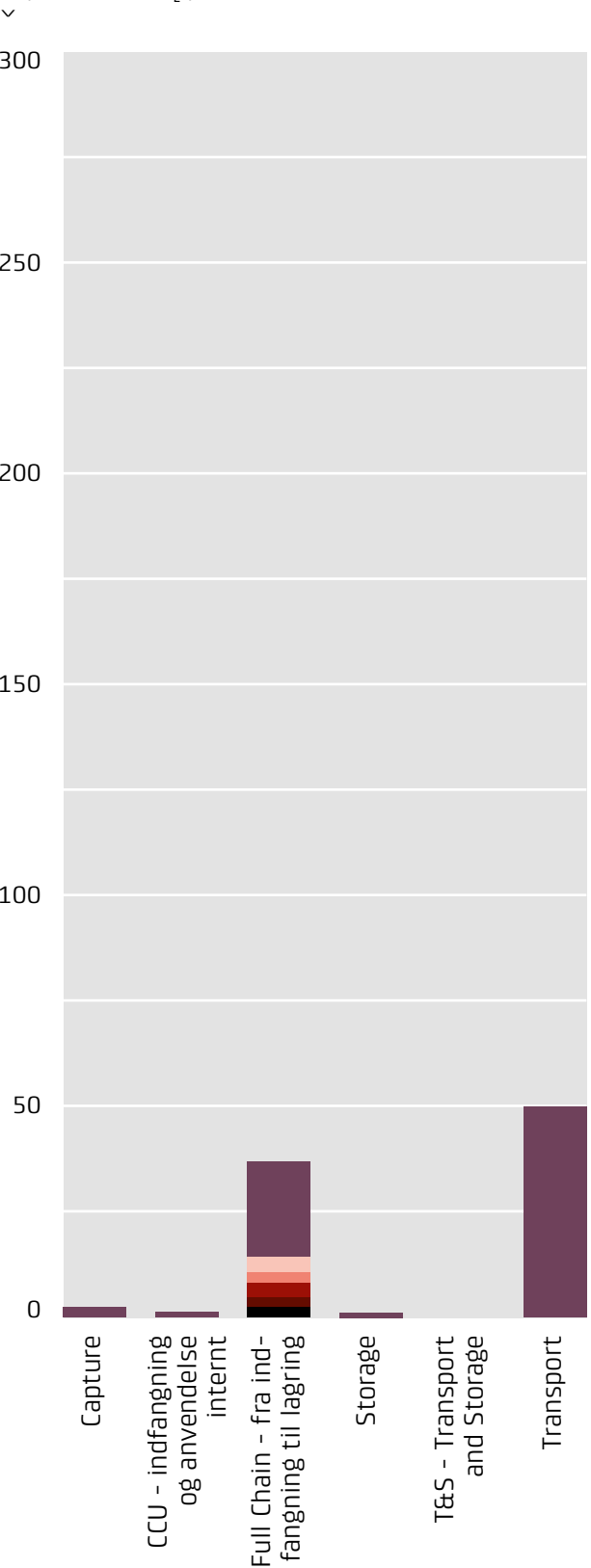


CCUS-PROJEKTER OPGJORT AF IEA FRA INDFANGNING TIL LAGRING - STATUS OG FREMSKRIVNING

■ Afrika ■ Asien ■ Australien ■ Danmark ■ Europa
■ Mellemøsten ■ Nordamerika ■ Sydamerika

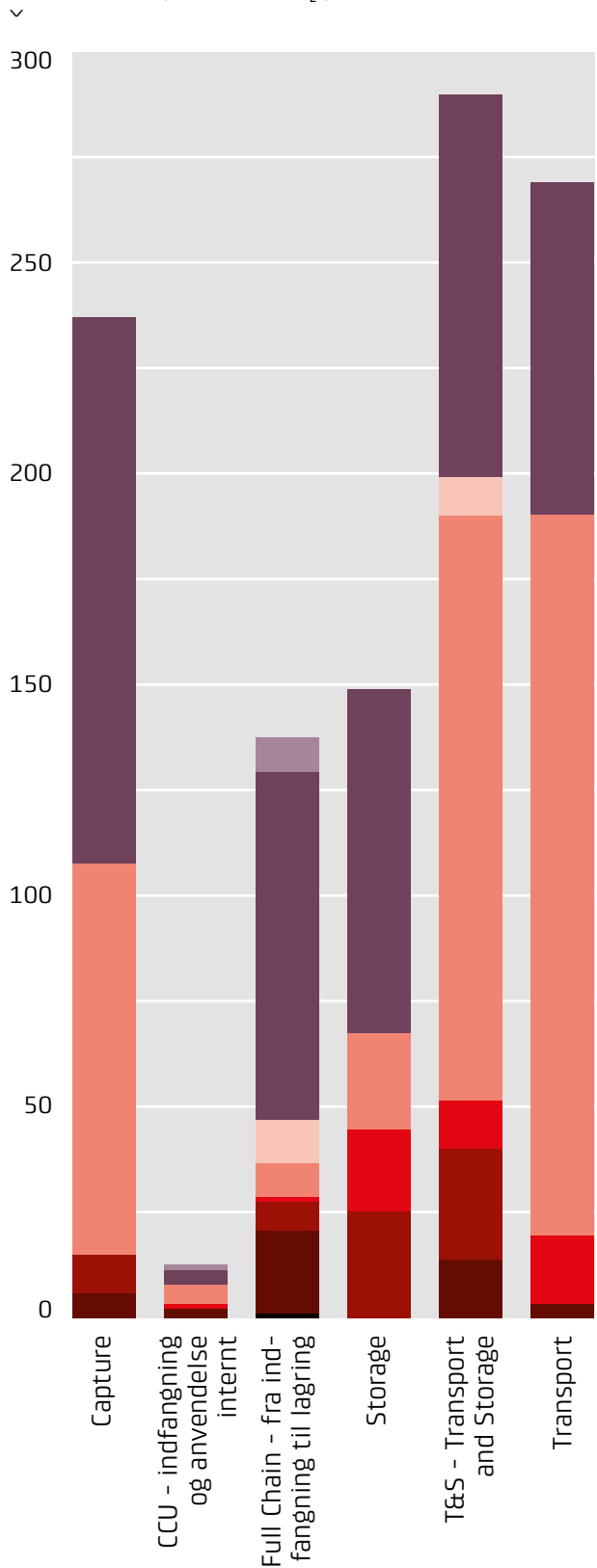
Stautus 2023

Kapacitet Mt CO₂ pr. år



Forventning 2030

Annonceret kapacitet Mt CO₂ pr. år



Kilder: Beregninger af Teknologisk Institut på IEA CCUS Project Database (hentet september 2023). CCU: indfangning og anvendelse internt. Full chain: fra indfangning til lagring, T&S: Transport + Storage. Europa er ekskl. Danmark.



riet, 2023); de blev givet til tre projekter via Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP) og med aftalen fra september 2023 forventes flere tilladelser på vej i udbud (Politisk aftale, 20. september 2023). Se oversigt til højre.

Før CCUS kan fungere i stor skala, skal alle led i værdikæden fungere fra indfangning af CO₂ til lagring. Det stiller krav om infrastruktur. Klimarådet skriver, at der mangler incitamenter til at tænke systemisk på tværs af projekter og f.eks. sikre, at rørinfrastruktur bliver bygget med stor nok kapacitet fra start af Danmark har særlige fordele, der gør det attraktivt at udvikle CCUS-teknologier. (Klima-

rådet, 2023), hvilket også virker anerkendt i den seneste politiske aftale fra september 2023 (Politisk aftale, 20. september 2023).

I analysen på de følgende sider giver vi først en status for det danske CCUS-økosystem af aktører i Danmark for derefter at kaste blikket ud i verden for at følge udviklingen af CCUS inden for science, teknologi og markeder.

GODKENDTE PROJEKTER TIL LAGRING AF CO₂ I DEN DANSKE UNDERGRUND

Energinets Gas Storage Denmark

Energinets Gas Storage Denmark i Stenlille i Vestsjælland, der har tilladelse til at lagre i alt 10 mio. tons CO₂ frem til 2043 og meget tyder på, at kapaciteten kan øges. Gas Storage Denmark (GSD) har lang erfaring med at drive og vedligeholde underjordiske gaslagre. I dag lagres primært metangas, men teknologien til CO₂-lagring er ikke meget forskellig. GSD forventer at være klar til at modtage CO₂ til lagring fra kunder ved udgangen af 2025 (Gas Storage Denmark A/S (GSD), 2023).

Projekt Bifrost

Det franske olieselskab TotalEnergies har tilladelse til at lagre mindst 5 mio. tons CO₂ om året fra 2030 ved det nedlagte oliefelt Harald. Dansk Undergrunds Consortium (DUC) har licenserne og infrastrukturen i Nordsøen, Ørsted ejer rørledningerne, der potentielt kan transportere CO₂ offshore, og DTU er projektets akademiske partner. Investeringen er på 157 mio. kr., og staten bidrager, via EUDP, med 75,68 mio. kr. (Bifrost, 2023).

Projekt Greensand

Det britiske olieselskab INEOS og tyske Wintershall DEA forventer at kunne lagre 1,5 mio. tons CO₂ om året inden udgangen af 2025 stigende til 8 mio. tons i 2030 i det nedlagte oliefelt Nini i Nordsøen. De 8 tons svarer iflg. Greensand (Greensand, 2023) til udledningen fra ca. 725.000 danskere om året - eller mere end 13 % af Danmarks årlige CO₂-udledning. Greensand forventes klar 2025. Investeringen er på 455 mio. kr., og staten bidrager via EUDP med 206,61 mio. kr. I pilotfasen i april 2023 er den første CO₂ lagret i Nordsøens undergrund, samtidig med at værdikæden med transport af CO₂ fra Belgien blev demonstreret. I projekt Greensand deltager hele 23 partnere. I fase 1 fik konsortiet tilladelse til at lagre 15.000 tons CO₂ og den fase afsluttedes med held foråret 2023. Formålet med fase 2 i Greensand-projektet er at frembringe den nødvendige viden, så man efterfølgende kan levere lagerkapacitet på 0,5-1,5 mio. tons CO₂ om året fra 2025 i Nini-feltet i den danske Nordsø (EUDP, 2023).

“ DANSKE CCUS AKTØRER I FOKUS

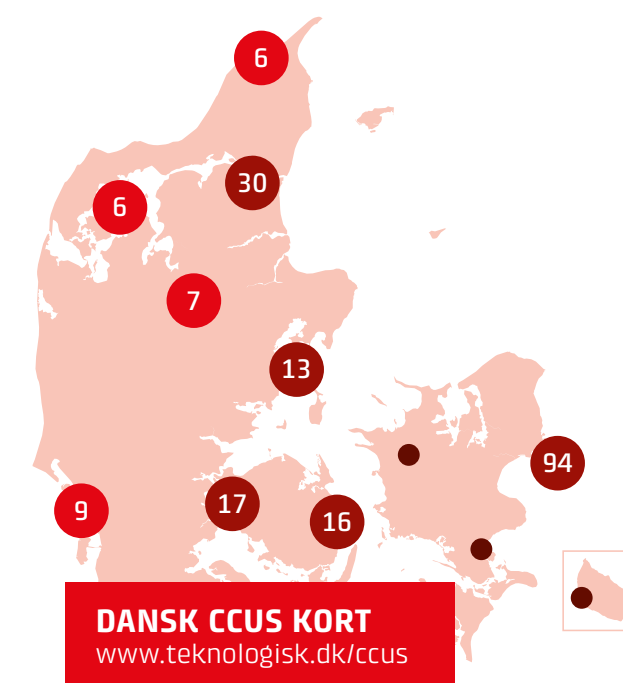
NYT DANSK ØKOSYSTEM AF VIRKSOMHEDER ER ENGAGERET I CCUS

CCUS har engageret en lang række aktører i Danmark. Det være sig CO₂-udledende virksomheder, der søger en løsning, teknologiudviklere og underleverandører. De kommer fra alle dele af dansk erhvervsliv og omfatter virksomheder, vidensinstitutioner, myndigheder og organisationer.

Der er indtil videre fundet over 200 aktører i Danmark, som på den ene eller den anden måde har relation til CCUS-værdikæden. Det samlede indtryk er, at økosystemet er vidtfavnende, internationalt orienteret og funderet i primært større virksomheder med stærk interesse og indsigt i CCUS.

Det er på sin plads at tale om et regulært, nyt erhvervsmæssigt økosystem i Danmark for CCUS. Et økosystem refererer til det bredere netværk af relationer og samspil mellem virksomheder, myndigheder, uddannelses- og forskningsinstitutioner, investorer og andre interessenter inden for en bestemt sektor eller industri. Økosystemet omfatter ikke kun virksomhederne og deres leverandører, men også de støttende organisationer, infrastruktur og politiske rammer, der er nødvendige for at fremme vækst og innovation. Et bredt forankret økosystem med kernevirksomheder, viden og støttefunktioner er en klar styrke for CCUS i Danmark.

Teknologisk Institut vedligeholder løbende et interaktivt, online kort over forskellige aktører og deres



arbejdsområder for at støtte udviklingen af CCUS i Danmark. Kortet bygger på en kortlægning ved brug af Teknologisk Instituts netværk, oplysninger om deltagere i projekter, databaser og søgninger på internettet.



Kortet viser en koncentration af virksomheder omkring hovedstaden, hvor mange virksomheder og organisationer har deres hovedsæder, men det illustrerer også, at økosystemet kan findes i hele Danmark.

Deltagerne i økosystemet kan fx være de virksomheder, der udleder CO₂ og søger eller tilbyder tekniske løsninger; det kan være underleverandører med delteknologier, leverandører af infrastruktur eller jordejere, det kan være rådgivere, der beskæftiger sig med finansiering eller forsikring eller tilbyder netværk til deltagerne. Økosystemets deltagere er beskrevet i rapporten "200 virksomheder i Danmark satser på fangst af CO₂ for klimaet", Teknologisk Institut (maj 2023). Se figuren på modsatte side.

Økosystemets teknologiske udvikling og udfordringer

Teknologisk Institut har spurgt aktørerne i det danske CCUS-økosystem om deres syn på den teknologiske udvikling, der har betydning for CCUS og om deres forventninger til fremtiden. Alle aktører i CCUS-økosystemet blev kontaktet af Teknologisk Institut med elektroniske spørgeskemaer i foråret 2023.

I alt 73 aktører responderede på spørgsmål om deres roller og interesse i CCUS (hvoraf en enkelt kun svarede sporadisk og er udeladt af analysen her). Det er en svarprocent på 37, hvilket er

meget tilfredsstillende for dataindsamling af den karakter, og det er også et udtryk for aktørernes engagement i CCUS-udviklingen. Der er ikke grund til at tro, at der er en særlig bias i besvarelserne, men tallene skal dog tolkes med en vis varsomhed. Ikke alle respondenter har svaret på alle spørgsmål. Enten fordi de er filtreret fra, eller fordi de har undladt at svare.

Hver tiende besvarelse kom fra enten myndigheder eller interesseorganisationer, mens resten repræsenterer den brede vifte af roller i økosystemet, der kunne forventes, hvoraf den største gruppe på 12 % er virksomheder, der udleder CO₂. I aktørkredsen er der mange, som interesserer sig for alle led af CCUS, herunder også transport af CO₂. Men ikke alle har forretningsmæssige eller andre interesser i samtlige dele af CCUS, som illustreret nederst.

Teknologisk modenhed og et ekstra trin på trappen

De danske aktører blev interviewet om deres syn på teknologiens modenhed vurderet på en skala, der er tilnærmet den europæiske skala for teknologisk parathed (Kaldet TRL-skalaen); denne fx blev anvendt ved Horizon2020 og i mange andre sammenhænge.

Skalaen er et bud på en generel vurdering af teknologisk modenhed (Innovationsfonden). Skalaen følger teknologiudviklingen i ni trin, fra grundforskning til en teknologi er afprøvet og klar til salg. Vi

KARAKTERISTIKA FOR AKTØRERNE I ØKOSYSTEMET

Økosystemet går på tværs af alle eksisterende brancheskel

Der er råstofvirksomheder, maskinfabrikanter, energivirksomheder, rådgivere og organisationer. Danmarks Statistik opdeler danske virksomheder i 27 brancher, og virksomheder der har interesse i CCUS findes i 16 af de 27 brancher.

Hver fjerde virksomhed i økosystemet er udleder af CO₂

Hver fjerde virksomhed findes inden for råstofudvinding, indenfor energitunge produktioner som sten, - ler, - og glas industri, kemisk industri og forsyning. Virksomheder inden for råstofudvinding er typisk virksomheder med rødder i olie- og gasproduktion, som har erfaringer med at arbejde i undergrunden og har den geologiske indsigt til at opbevare CO₂ i undergrunden.

Mere end hver fjerde virksomhed i økosystemet er i rådgivningsbranchen

Det understreger, at CCUS er sat i værk i en skala, der rækker langt ud over laboratorierne og demonstrationsprojekterne. Rådgiverne og engagementet fra vidensinstitutioner og GTS vidner om, at der er behov for specialiserede ydelser og viden.

Store virksomheder

Alle størrelser af virksomheder er repræsenteret i økosystemet, men i forhold til dansk erhvervsliv generelt, er SMV-segmentet underrepræsenteret. Næsten hver tredje virksomhed har mere end 200 ansatte. Det er en refleksion af, at CCUS stadig kræver betydelige investeringer i både udvikling og anlæg. Men med tiden giver udvikling og infrastruktur mulighed for at økosystemet udvides til også mindre udledere og aktører.

Stort udenlandsk engagement

Af de 200 virksomheder og organisationer har Experian registreret, at 26 virksomheder har et udenlandsk moderselskab. Hovedparten af moderselskaberne er fra EU eller Norge, mens fire har rødder i Nordamerika og en i Singapore. Danmarks økonomiske og teknologiske engagement i CCUS kombineret med kontakterne til udenlandske virksomheder giver Danmark mulighed for at være med helt i front, og påvirke teknologiudviklingen med dansk teknologi.

har anvendt skalaen til inspiration og tilføjet et ekstra trin, som er "Teknologien er almindelig og anvendes i stor stil".

Trinnet er tilføjet, fordi der kan gå en rum tid, fra en teknologi er på markedet, til den er almindeligt udbredt. Fra en klimasynsvinkel er teknologier, som kan anvendes i stor skala og er almindeligt udbredte, mere relevante og nyttige end teknologier, der kun lige er klar til markedet. Teknologier, der er almindelige og anvendes i stor stil, er sandsynligvis en konkurrencedygtig teknologi, som leverer i kombinationen af pris, effektivitet, anvendelighed, tilgængelighed mv. Skalaen er desuden tilpasset, så den kan anvendes i en spørgeskemasammenhæng. Fx er definitionen på trin 1 i kort form:

TRL 1: Basic principles observed • Identification of the new concept. • Identification of the integration

of the concept. • Identification of expected barriers. • Identification of applications. • Identification of materials and technologies based on theoretical fundamentals/literature data. • Preliminary evaluation of potential benefits of the concept over the existing ones (Innovationsfonden).

Hvilket i spørgeskemaet til CCUS-aktørerne er reduceret til: "De basale principper er fundet i forskningen".

Spørgsmålet om teknologisk modenhed, og hvilke udfordringer virksomhederne står overfor, er stillet til alle aktører, som enten har forretningsmæssige eller andre interesser (fx forskning) i indfangning, anvendelse eller lagring af CO₂ samt transport af CO₂.

TRL-skala tilpasset til e-survey

1. De basale principper er fundet i forskningen
2. De teknologiske løsninger er kendte og formuleret
3. Eksperimenter har efterprøvet løsningerne
4. Teknologien er afprøvet i laboratorier
5. Teknologien er afprøvet i relevante miljøer, fx industrien
6. Teknologien er demonstreret i relevante miljøer
7. Teknologien er afprøvet i praksis
8. Teknologien er færdig til at sætte i drift
9. Teknologien anvendes i praksis i relevante miljøer
10. Teknologien er almindelig og anvendes i stor stil



DANSKE CCUS-AKTØRERS INTERESSEFELT INDEN FOR CCUS

4%

Entreprenører

12%

CO₂ Udledere

21%

Rådgivere

7%

Interesseorganisation

10%

Leverandører (fysiske)

3%

Forskning

10%

Leverandører (service)

3%

Investering

6%

Operatører

3%

Andre aktører



Andre aktører er for eksempel: Havne anlæg og infrastruktur, Transportløsninger, Analyser og facilitering, Varmekøbere, Klynge og erhvervsorganisationer, Ejere af lager og infrastruktur, Udstyr til boring af brønde, Emissionsmålinger, Aftagere af overskudsvarme og Udviklingsselskaber.

Kilde: Interview med CCUS virksomheder – 73 besvarelser blandt 200 virksomheder. Bemærk: Fra enkelte virksomheder er der mere end et svar.



Indfangning af CO₂
– Teknologisk modenhed
og udfordringer

CO₂ kan indfanges på anlæg der udsender røggas eller direkte fra luften. Svarene fra aktørerne er helt overordnet, at teknologien stort set er på plads, men at skaleringen til store systemer er udfordret af store anlægsudgifter, usikkerhed om afsætningsmuligheder, mangle på infrastruktur og politisk regulering.

Der er stor spredning på aktørernes vurdering af teknologiens modenhed, når det gælder indfangning af CO₂. Der er de, der påpeger, at grundforskning eller eksperimenter og laboratorieforsøg fortsat er nødvendig, og atter andre - næsten hver fjerde - der peger på, at teknologien allerede kan anvendes i praksis. Alt efter hvilke dele af teknologien og hvilket behov for forsat FoU der tænkes på, er svarene ikke nødvendigvis modstridende. Den overvejende del hælder dog til svar, der trækker teknologien ud af laboratorierne og får teknologien afprøvet, demonstreret og testet i praksis.

Det mest bemærkelsesværdige trin er det sidste trin i skalaen, for blot 2 % (ét svar) mener, at teknologien er helt almindelig og anvendes i stor skala.

Hvis indfangning af CO₂ skal nytte, er det nødvendigt, at teknologien kan implementeres i stort omfang. At teknologien er langt, men endnu ikke udrullet i stor skala, understøttes af svarene på spørgsmålet om, hvor virksomhederne ser de største produktionsteknologiske udfordringer for indfangning af CO₂. Et stort flertal peger på økonomien i anlæggene og på store anlægsudgifter.

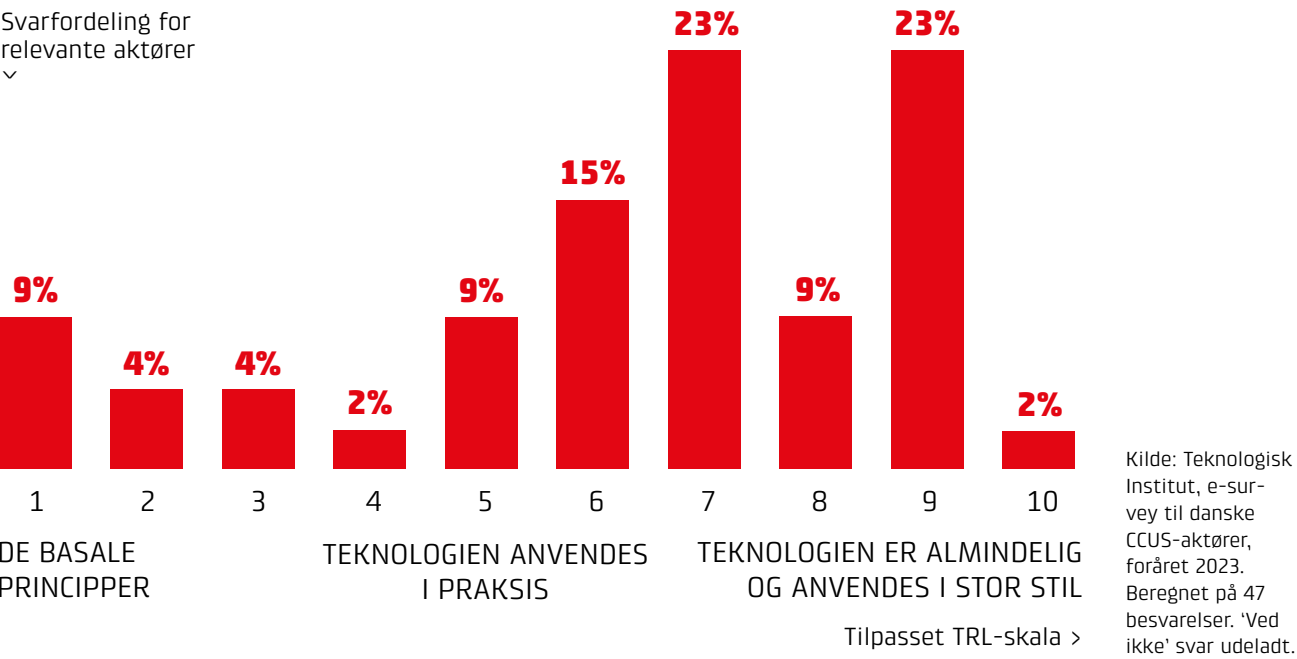
Der kan imidlertid stadig ske noget på teknologisk udvikling omkring indfangning og effektiviteten af anlæggene.

De skriftlige svar i surveyen peger desuden på "hønen og ægget"-problematikken i anlægsinvesteringer: Det er dyrt for virksomheder at lave en anlægsinvestering, hvis der ikke findes en transportinfrastruktur, så de kan sende den indsamlede CO₂, videre. På den anden side er det dyrt at etablere en transportinfrastruktur, før der er virksomheder, der har indsamlet CO₂, der skal transporteres. I forhold til transportinfrastrukturen er en kommentar: "For retningsmæssigt handler det om, hvad der kan lade sig gøre, og hvad der er tilgængeligt. Pt. er markedet ikke-eksisterende".

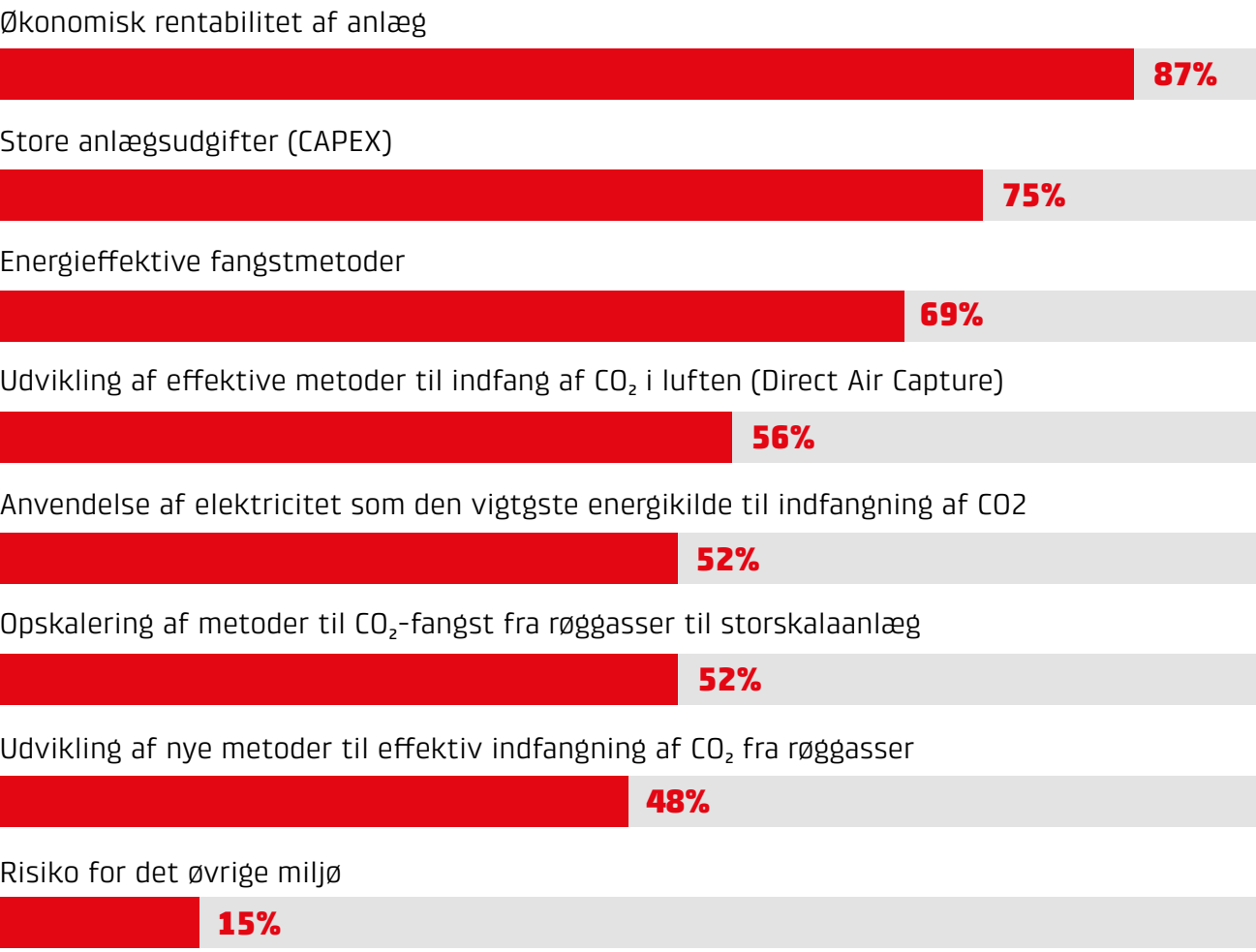
En enkelt ønsker stærkere sektorkobling, så virksomheder kan handle med andre virksomheder uden afgift, fx så overskudsvarmen kan sælges til fjernvarmeanlæg, og ilten fra elektrolyseanlæg kan bruges til CO₂-fangst vha. oxyfuel. Udfordringen ligger mere i det økonomiske og systemmæssige end i egentlig manglende teknologi til indfangning af CO₂. Der er også kommentarer om behov for politisk regulering (afgiftssystemer, kvoter, tilskud, mv) til understøtning af indfangningen af CO₂.

Tilsvarende spørgsmål er stillet til de aktører, der har interesser i infrastrukturen. Otte ud af ti peger på økonomien som barriere, og at der skal udvikles og testes transport hubs som havne, mellemlagre eller knudepunkter for transport af store mængder CO₂. Men den teknologiske udvikling er mere fremskreden på transport, så det at anlægge rørsystemer eller anskaffe skibe, der kan transportere CO₂, er en noget mindre barriere.

TEKNOLOGISK MODENHED VED INDFANGNING AF CO₂
Hvor fremskreden er teknologiudviklingen samlet set i relation til indfangning af CO₂ fra luften eller røggasser vurderet på nedenstående skala?



UDFORDRINGER VED INDFANGNING AF CO₂
Hvad er de største produktionsteknologiske udfordringer i relation til indfangning af CO₂ fra luften eller røggasser – og er det i høj eller nogen grad en udfordring?



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS-aktører, foråret 2023. Beregnet på 52 besvarelser.

Anvendelse af CO₂
– Teknologisk modenhed
og udfordringer

CO₂ kan potentielt udnyttes på mange måder. Fx kan Power-to-X udnyttes til produktion af brændstoffer og materialer, fx polymer. CO₂ kan anvendes til biologisk omdannelse af fx alger eller bakterier eller øget olieudvinding.

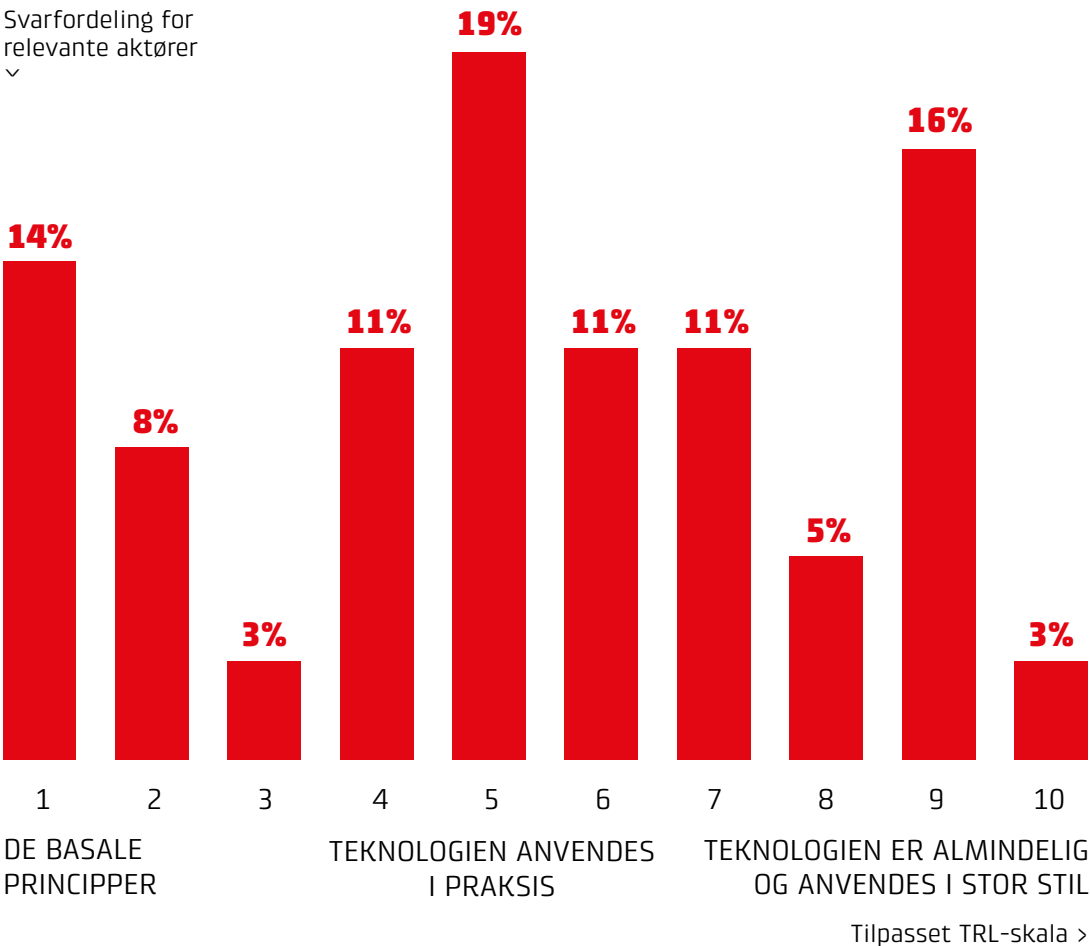
I sammenligning med den teknologiske modenhed af indfangningsteknologi er anvendelsesteknologierne knapt så teknologisk modne. Spredningen i

svarene kan måske forklares ved den store spredning i anvendelsesområder fra fx produktion af nye typer af brændstoffer til nye materialer. Der er et større behov for grundlæggende forskning, og især for afprøvning i relevante miljøer. Men der er også teknologi, som allerede nu kan bringes i anvendelse.

Udfordringerne knytter sig, ligesom for indfangning, mere til det økonomiske og systemmæssige end til det egentlig teknologiske; etablering af anlæg, effektivisering produktioner og konkurrence fra fossilt baserede løsninger. Der er forsat afhængighed af støtte til teknologiudvikling.

TEKNOLOGISK MODENHED FOR UDNYTTELSE AF CO₂

Hvor fremskreden er teknologiudviklingen samlet set i relation til udnyttelse af CO₂ vurderet på nedenstående skala?



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS-aktører, foråret 2023. Beregnet på 37 besvarelser. 'Ved ikke' svar udeladt.

UDFORDRINGER VED UDNYTTELSE AF CO₂

Hvad er de største teknologiske udfordringer i relation til udnyttelse af CO₂ - og er det i høj eller nogen grad en barriere?

Finansiering af anlægsinvesteringer til anlæg, der udnytter CO₂ til fx brændstoffer eller materialer



Reduktion af produktionsomkostninger til udnyttelse af CO₂ i fx brændstoffer eller materialer



Udnyttelse af CO₂ til skabelse af konkurrencedygtige alternativer til fossilt baserede løsninger, fx brændstoffer eller materialer



Afhængighed af statsstøtte til fremme af teknologiudvikling



Udvikling af teknologier, der konverterer CO₂ til materialer af høj kvalitet



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS-aktører, foråret 2023. Beregnet på 49 besvarelser.



Lagring af CO₂ – teknologisk modenhed og udfordringer

Lagring af CO₂ er, ligesom indfangning af CO₂, en relativt moden teknologi, hvor der dog stadig er plads til forbedringer. Det næste store skridt er skiftet fra i praksis at kunne lagre CO₂ i undergrunden til

at gøre det i stor skala. Ligesom for indfangning og lagring af CO₂ er udfordringen den kommercielle risiko ved anlæg, der kan lagre CO₂ i stor skala. Der er nogen bekymring i forhold til sikkerhed, som mere kan fortolkes som sikkerhed for, at CO₂en bliver i undergrunden end egentlig sikkerhed i forhold til sundhedsfare. Der kan desuden være en negativ påvirkning af miljøet.

UDFORDRINGER VED LAGRING AF CO₂

Hvad er de største teknologiske udfordringer i relation til udnyttelse af CO₂ - og er det i høj eller nogen grad en barriere?

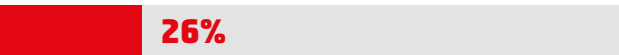
Reduktion af den kommercielle risiko



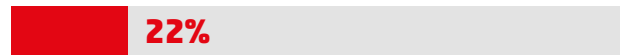
Opnåelse af storskala



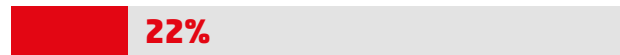
Sikker opbevaring af CO₂, når det er indfanget



Risiko for negativ påvirkning af miljøet



Teknologiske løsninger som, i flere hundrede år, reducerer risikoen for udslip fra lagre

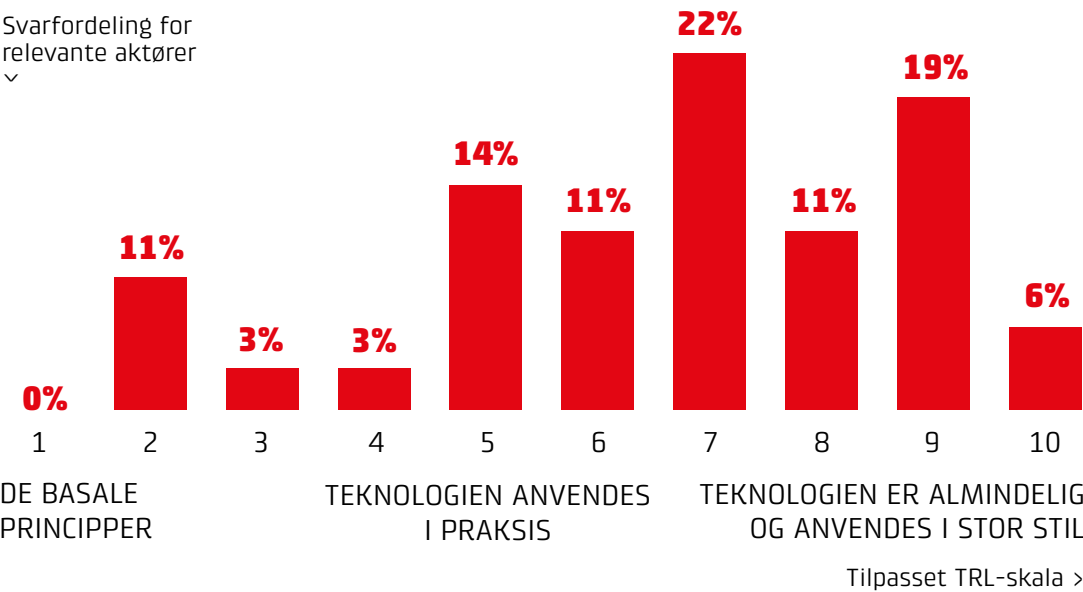


Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS aktører, foråret 2023. Beregnet på 46 besvarelser.

TEKNOLOGISK MODENHED FOR LAGRING AF CO₂

Hvor fremskreden er teknologiudviklingen samlet set i relation til lagring af CO₂ vurderet på nedenstående skala?

Svarfordeling for relevante aktører



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS-aktører, foråret 2023. Beregnet på 36 besvarelser. 'Ved ikke' svar udeladt.



Transport af CO₂

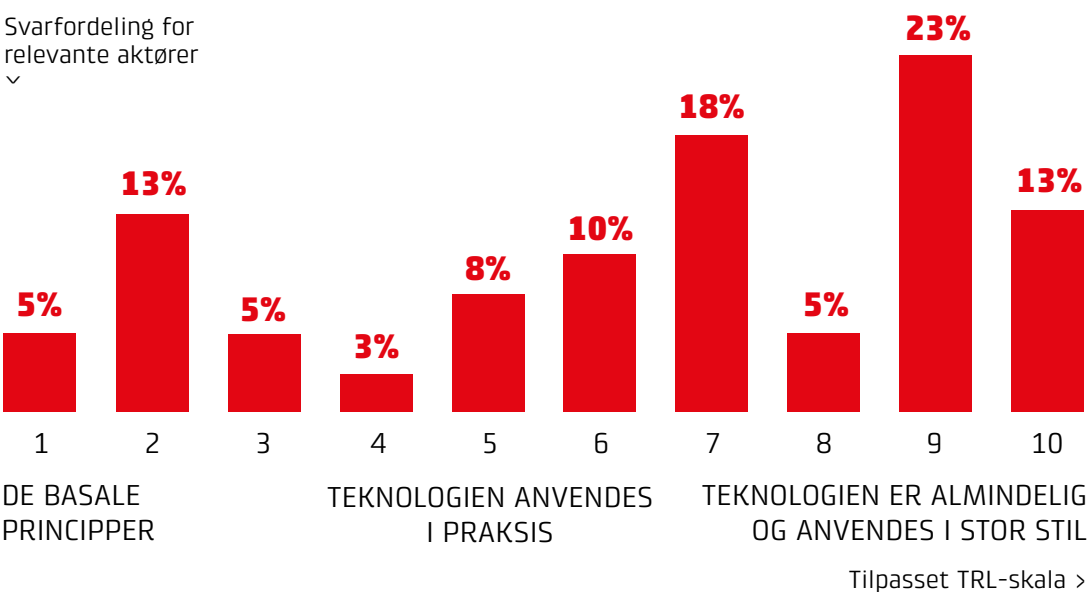
Den indsamlede CO₂ skal transporteres fra indfangning til lagre eller faciliteter, der kan udnytte CO₂ i CCUS-systemet. Transport kan foregå gennem rørledninger eller med lastbiler og skibe, og i infrastrukturen er det nødvendigt med opsamlingssteder og mellemlagre til opbevaring før videre transport. Der er dele af teknologien, som kendt og anvendes i praksis og kan skaleres. Men ligesom

de øvrige områder er der teknologi, der kan videreudvikles. Aktørerne peger på, at en væsentlig barriere er at få hele infrastrukturen på plads. Det er "hønen og ægget", for uden indsamling af CO₂ og etablerede lagre investeres der ikke i infrastruktur, og uden infrastruktur er indsamling og lagringsfaciliteter ikke rentable. Otte ud af ti ser rentabilitet som en barriere i høj grad eller i nogen grad, og syv ud af ti peger på, at udviklingen af infrastruktur er en barriere for transporten.

TEKNOLOGISK MODENHED FOR TRANSPORT AF CO₂

Hvor fremskreden er teknologiudviklingen samlet set i relation til transport af CO₂ vurderet på nedenstående skala?

Svarfordeling for relevante aktører



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS-aktører, foråret 2023. Beregnet på 47 besvarelser. 'Ved ikke' svar udeladt.

CCUS-TEKNOLOGIS POTENTIALE SOM KLIMAREDSKAB

Hvilket potentiale ser du, at CCUS-teknologier har i forhold til udledningen af CO₂ fra Danmark i 2030 / 2050?

■ 2030 ■ 2050

CCUS vil være afgørende for reduktion af CO₂ fra Danmark



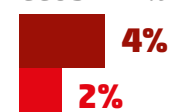
CCUS vil være en væsentlig del af den samlede reduktion af CO₂ fra Danmark



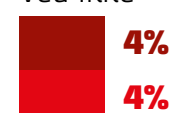
CCUS vil være en mindre del af den samlede reduktion af CO₂ fra Danmark



CCUS vil kun have minimal betydning for den samlede reduktion af CO₂ fra Danmark



Ved ikke



Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS aktører, foråret 2023. Beregnet på 55 besvarelser.

Forventninger i det danske økosystem og udfordringer i fremtiden

Aktørerne i det danske CCUS-økosystem ser optimistisk på fremtiden, når det gælder CCUS som teknologi, og når det gælder økonomi og jobs. Men vejen dertil er brolagt med udfordringer, når det gælder skalering og hastighed: Investeringslysten hæmmes af usikkerheder på forretningsmodel, tempo i udrulning, usikkerhed om afgifter, og ubalancer i forventninger til udbud og efterspørgsel på infrastruktur.

De fleste aktører anser CCUS-teknologier for at have et godt potentiale til at reducere udledningen af CO₂. Tre ud af fire ser CCUS som afgørende, eller en væsentlig del af den samlede reduktion af CO₂ fra Danmark, på den kortere bane frem mod 2030.

Lidt flere ser potentialet på den længere bane frem mod 2050. Kun ganske få tror, at CCUS er henvist til en minimal betydning for Danmark.

I den nærmeste horisont frem mod 2026 ser nogle af de interviewede virksomheder en stigning i omsætning, beskæftigelse og eksportmuligheder for CCUS-teknologi og services.

Men der er udfordringer, før forventningerne kan indfries. Udover de udfordringer, der allerede er gennemgået for henholdsvis indfangning, anvendelse og lagring af CO₂, blev aktørerne bedt om at prioritere udfordringerne fremadrettet mere generelt. Barriererne er opdelt i fem hovedområder: Investeringer, samfund, international, arbejdskraft og teknologi.

INDIKATORER PÅ ØKONOMISKE FORVENTNINGER FOR CCUS-AKTØRER

Forretningsudsyn mod 2026 fra danske aktører - indikatorer

Omsætning

2023

18%
Af samlede omsætning

CCUS udgør i gennemsnit 18 procent af aktørernes samlede omsætning i 2023.

2026

26%
Af samlede omsætning

CCUS forventes at udgøre i gennemsnit 26 procent af aktørernes samlede omsætning i 2026. Fortsat stor spredning.

Jobs

2023

11
Beskæftigede per aktør

I gennemsnit 11 beskæftigede sig med CCUS pr. aktør. Stor variation fra 0 til 400+ medarbejdere.

2026

23
Beskæftigede per aktør

I gennemsnit 23 beskæftigede med CCUS pr. aktør. Stor variation fra 0 til 750+ medarbejdere.

Eksport

2023

0%

2026

31%

Forventer stigende eksport

31 procent forventer at eksport af CCUS-teknologi eller CCUS-knowhow vil stige frem mod 2026.

2026

27%

Forventer deres primære marked i udlandet

27 procent forventer, at deres primære marked ligger uden for Danmark i 2026. Der er 6 procent, der ikke ser noget udenlandsk CCUS-marked for dem.

Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS aktører, foråret 2023. Beregnet på 33 besvarelser. Spørgsmål om eksport 52 besvarelser. Blandt disse er 15 procent udenlandsk eller overvejende udenlandsk ejede aktører.

BARRIERER FOR UDVIKLING AF CCUS-TEKNOLOGI I DANMARK I ÅRENE FREMOVER

Hvilke samfundsmæssige vanskeligheder eller barrierer står CCUS overfor i forhold til at reducere udledningen af CO₂ i Danmark? - og i hvor høj grad?

Investeringer

Otte ud af ti peger på, at investeringerne i CCUS kunne gå hurtigere og forklaringerne kan findes i fx uklarhed på forretningsmodeller, eller udfordringerne med at balancere udbuddet af infrastruktur med efterspørgslen på kort sigt. I rapport om markedsmuligheder for Danmark konkluderede Rambøll, at statslig indblanding og understøttelse er nødvendig fordi aktørerne hverken har kapacitet eller incitament til at udvikle CCS (Rambøll, 2021).

Forretningsmodellen for at tjene penge på CCUS er uklar

84%

Investorer holder sig tilbage fordi det er uklart, hvornår CCUS kan indtjene penge

80%

Mangel på (investeringer i) infrastruktur til transport af CO₂

78%

Mangel på investeringer og finansiering til forskning og teknologiudvikling

50%

Samfund

Under kategorien samfund er der flere faktorer, der kan gøre investorer usikre, fx som usikkerhed på CO₂-afgifter, langsomt bureaukrati og manglende lovgivning. Det er til gengæld færre, der ser alvorlige udfordringer i forhold til miljøbelastninger i øvrigt eller nabo-accept.

Usikkerheden om afgifter på CO₂

80%

Bureaukrati og langsomme godkendelser forsinker

64%

Lovgivning forhindrer en hurtig udvikling

60%

Hensynet til omgivende natur og miljø forsinket udviklingen

26%

Modstand mod løsninger i lokalområdet ved etablering af CCUS-anlæg

20%

Teknologi

Hver anden virksomhed anser det som en hæmsko, at der ikke er tilstrækkeligt med test- og demonstrationsfaciliteter og lidt færre (29%) påpeger, at der stadig udestår grundforskning på afgørende teknologier. Behovet for teknologiudvikling understøttes af notat fra GEUS (GEUS, 2021), som blandt andet understreger behov for midler til test og udvikling, samt demonstration af teknologi til storskala indfangningsanlæg samt yderligere udvikling og demonstration af anvendelsesteknologier fx PtX.

Mangel på test- og demonstrationsfaciliteter

48%

Mangel på grundforskning i afgørende teknologier

29%

Kilde: Teknologisk Institut, e-survey til danske CCUS aktører, foråret 2023. Beregnet på 52 besvarelser. Procenter er andelen, der svarer 'i høj grad' og 'i nogen grad'.

Internationalt

På den internationale bane mangler standarder, og usikkerhed om oliepriser i fremtiden vil nok altid findes.

Mangel på internationale standarder som sikrer, at CCUS-systemer fungerer sammen

58%

Usikkerhed om olieprisernes udvikling

32%

Kompetencer

Halvdelen anser mangel på kompetencer, know-how og hænder som en alvorlig barriere for CCUS, hvilket ligger i forlængelse af den aktuelle samfundsdiskussion om mangel på arbejdskraft, STEM-kandidater m.v.

Mangel på kompetencer og knowhow til implementering og drift af anlæg i fuld skala

50%

Mangel på arbejdskraft og til implementering og drift af anlæg i fuld skala

34%

Forskning

I Danmark har en række vidensaktører forenet deres kræfter for at fremskynde udviklingen af CCUS. Det mest omfattende CCUS-netværk i Danmark er INNO-CCUS. Derudover findes der to andre forskningscentre.

INNO-CCUS

www.inno-ccus.dk

Består af 57 videnspartnere, herunder universiteter, GTS-institutter og førende virksomheder inden for området. Deres mål er at fremme en fælles dagsorden for CCUS ved at skabe ny viden på området (DTU, 2022).

Novo Nordisk Foundation CO₂ Research Center

corc.au.dk

Har hovedsæde på Aarhus Universitet og er et CCUS-forskningscenter, der samarbejder aktivt med fire andre universiteter, herunder Stanford University. Formålet er at generere skalérbar viden, der kan bidrage til reduktion, opsamling og omdannelse af CO₂ (Rørbæk, 2021).

Forskningscenter under GEUS, GSD og Energinet

I 2020 etablerede De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Energi-styrelsen, Gas Storage Denmark (GSD) og Energinet et forskningscenter inden for CCUS. Formålet var blandt andet at undersøge det tekniske potentiale for opsamling og lagring af CO₂ samt at kortlægge transportmulighederne for CO₂ i rørledningsnetværket (GEUS, 2021).

Bevillinger

Klimaaftalen fra 2020 (Klimaaftale for energi og industri mv. 2020, 2020) satte CCUS højt på dagsordenen. Der er samlet afsat 38,7 mia. kr. fordelt på tre støttepuljer til udvikling af CCUS i Danmark. Den første pulje blev tildelt i maj 2023 til Ørsted, som skal levere 0,43 mio. tons CO₂-reduktioner årligt via CCUS-teknologi fra 2026 og de næste 20 år frem (Dansk Industri, 2023).

Derudover har Fonden for Retfærdig Omstilling afsat 190 mio. kr. til udvikling af lokale værdikæder for CCUS. Ansøgninger forventes at blive behandlet i oktober 2023 (Erhvervsstyrelsen, 2023). Også Innovationsfonden har bevilliget 201 mio. kr. til INNO-CCUS i 2022, for at styrke CCUS-udviklingen i Danmark. De første løsninger forventes at være klar i 2025 (Teknologisk Institut, 2022).

Yderligere 36 mio. kr. er blevet tildelt CO₂Vision af Danmarks Erhvervsfremmebestyrelse, som skal bruges på at videreudvikle bæredygtige teknologier, deriblandt CCUS (Energy Cluster Denmark, 2023). Den politiske aftale i september 2023 fremrykker investeringer og målsætningerne til 15 år fremfor oprindeligt 20 år (Politisk aftale, 20. september 2023).



**DET MEST OMFATTENDE
CCUS-NETVÆRK I DANMARK
ER INNO-CCUS**





“ GLOBALT MOMENTUM FOR CCUS

INTERNATIONALT UDSYN: SCIENCE, TEKNOLOGI OG MARKED

CCUS er også på verdensplan ved at få momentum. IEA skrev i juli 2023, at omkring 40 kommercielle CCUS anlæg allerede er i drift i industrielle processer, brændselsomdannelse og energiproduktion.

Udrulningen af CCUS har iflg. IEA tidligere haltet efter forventningerne, men momentum er vokset betydeligt i de seneste år, med over 500 projekter i forskellige udviklingsfaser på tværs af CCUS-værdikæden. Siden januar 2022 har projektudviklere annonceret ambitioner om omkring 50 nye fangstanlæg, der skal være i drift inden 2030, og som vil fange omkring 125 mio. ton CO₂ om året. Ikke desto mindre ville CCUS-udrulning, selv på dette niveau,

forblive væsentligt under (omkring en tredjedel af) de cirka 1,2 mia. ton CO₂ om året, der er nødvendige i scenariet for Net Zero Emissions inden 2050 (NZE) (International Energy Agency, 2023a).

Det følgende er Teknologisk Instituts udsyn på udviklingen af CCUS globalt og en undersøgelse af Danmarks rolle inden for videnskab, ny teknologi og markedsudvikling.

Science

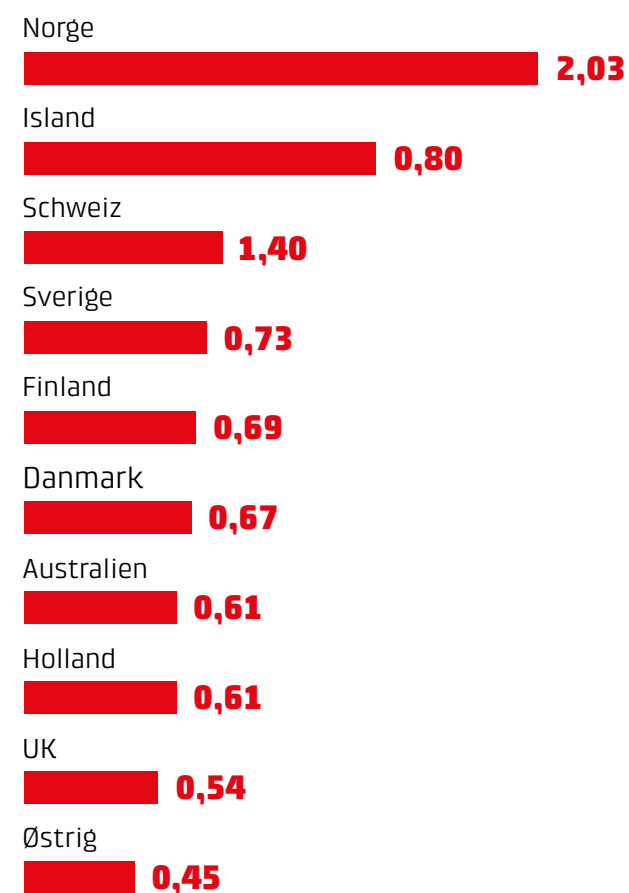
Forskning er én af forudsætningerne for teknologisk udvikling. Derfor er udviklingen inden for et forskningsområde en væsentlig indikator for teknologisk udvikling.

Den globale forskningsinteresse inden for CCUS er vokset kraftigt de senere år. Antallet af videnskabelige publikationer om emnet er næsten fordoblet i løbet af 5 år, fra 2017 til 2022. Det vidner om en enorm interesse for emnet netop nu.

Selvom man ikke kan spå om fremtiden, kan fremskrivninger give os en indikation af, hvordan fremtiden kan se ud, når det kommer til forskning i CCUS. Vi har beregnet to bud på, hvordan den fremtidige udvikling kunne se ud. Den røde linje illustrerer en lineær fremskrivning, mens den sorte linje viser en eksponentiel fremskrivning. Og selvom den eksponentielle udvikling kan synes voldsom, har udviklingen gennem de senere år været tættere på eksponentiel end lineær.

FORSKNINGSARTIKLER PER CAPITA - TOP-10

Danmark forsker forholdsmæssigt meget i CCUS



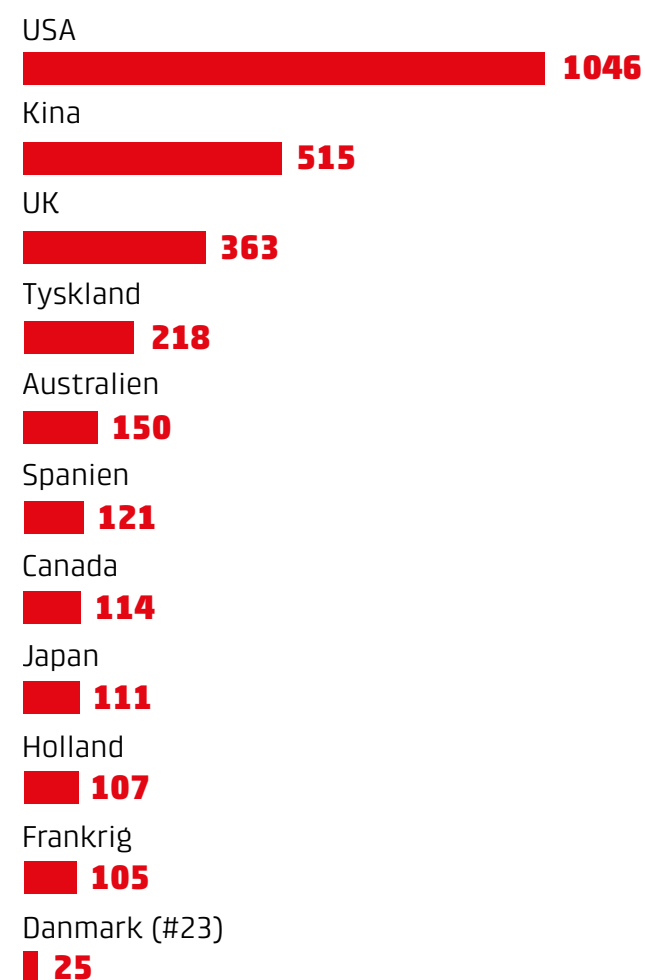
Note: Opgørelse over de 10 OECD-lande med det største antal forskningsartikler pr. 10.000 indbyggere. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Scopus.

Der er derfor grund til at tro, at udviklingen vil fortsætte de kommende år, og at omfanget af den forskningsmæssige interesse vil tage til.

Ligesom med andre strategiske forskningsområder, er Danmark i skarp konkurrence med andre lande. I absolutte tal er Kina det land, der gennem de seneste år har produceret mest forskning inden for CCUS. Kina er efterfulgt af USA, og dernæst af Storbritannien, Tyskland, Indien og Canada.

CITEREDE FORSKNINGSARTIKLER

Den mest citerede forskning inden for CCUS kommer fra USA – dansk forskning er nummer 23



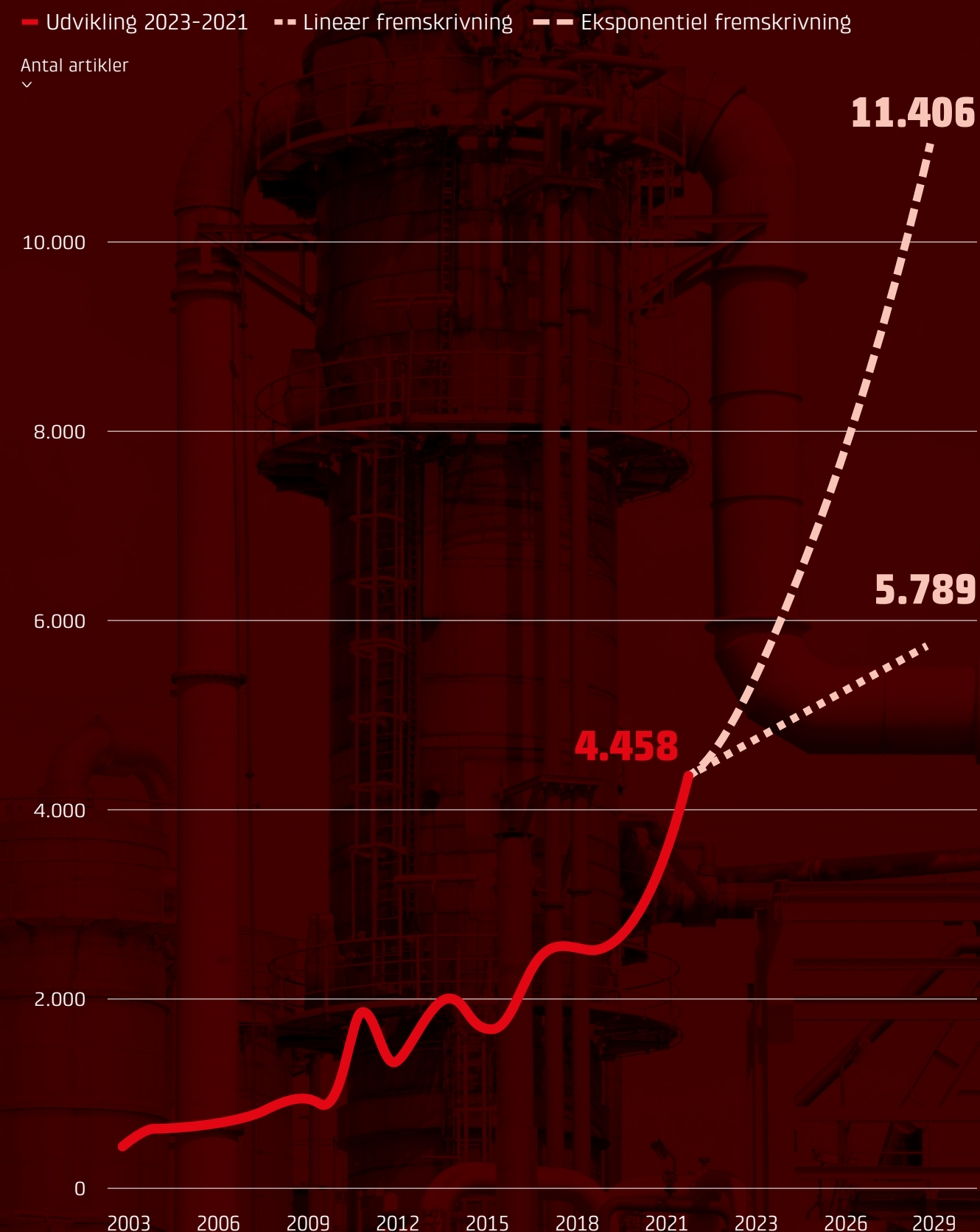
Note: Opgørelse af hvilke lande, de 10 procent mest citerede forskningsartikler stammer fra. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Scopus.

Ser man på regioner, så er der produceret mest forskning i Europa i løbet af de seneste år (omkring 17.000 forskningspublikationer). Europa er skarpt forfulgt af Asien med omkring 16.000 forskningspublikationer, mens USA noterer sig for knap 8.000 forskningspublikationer.

Kendetegnende for de førende lande er, at der er tale om befolkningsrige nationer. For et lille land som Danmark, er det derfor relevant at måle på den

ANTAL FORSKNINGSARTIKLER OM CCUS 2003 - 2029

Den forskningsmæssige interesse for CCUS er stærkt stigende – og trenden indikerer, at interessen vil fortsætte



Note: Tal fra 2023 og frem er estimeret ved lineær og eksponentiel fremskrivning. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Scopus.

forskningsmæssige styrke inden for et område ved at måle på forskningsvolumen i forhold til befolkningstallet.

Forholdet mellem antallet af forskningspublikationer og indbyggertal er beregnet for de 10 førende OECD-lande. Her ligger Danmark forholdsmæssigt højt med en placering som nummer 6, med 0,67 forskningsartikler per 10.000 indbyggere. Danmark er dog overgået af de øvrige skandinaviske lande og Schweiz.

At se på volumen i forskningen inden for CCUS kan give gode indikationer for, hvordan dansk forskning står i forhold til andre nationer. Som vist ovenfor placerer Danmark sig ikke højt i absolutte tal, men sat i forhold til befolkningstallet, ligger Danmark ganske flot.

Dansk forskningsposition inden for CCUS kan yderligere belyses ved at se på den mest citerede forskningslitteratur. Antallet af citationer kan være udtryk for flere forskellige forhold. Bl.a. kan det ses som et udtryk for, hvor indflydelsesrig og anerkendt forskningen har været for det videnskabelige samfund.

En gennemgang af de 10 % mest citerede forskningspublikationer viser, at Danmark på denne parameter ikke er førende. Gennemgangen viser, at USA, Kina og Storbritannien har produceret mest forskning inden for CCUS, mens Danmark indfinder sig på en 23. plads.

Foruden forskningspublikationer tager vidensinstitutioner også patenter på opfindelser, som forskningen medfører. Kortet herunder giver et overblik over de 893 vidensinstitutioner, som siden 2010 har fået et patent relateret til CCUS. DTU er det eneste danske universitet i gruppen. Herudover har 458 kinesiske og 95 amerikanske vidensinstitutioner fået et eller flere patenter. Der er en markant koncentration af institutioner i Asien, hvor også henholdsvis 69 sydkoreanske og 42 japanske vidensinstitutioner er involveret i patenter.

Carbon Herald (Trendafilova, 2022) har dannet en lille oversigt over de vigtigste universiteters

forskningsprogrammer inden for CCUS. Af de top-10 listede universiteter og forskningscentre er der tre britiske og 7 amerikanske:

**1. University of Aberdeen
- Carbon Capture Machine**

www.abdn.ac.uk/news/10073

Universitetet er kendt for sin forskning inden for carbonfangst og -udnyttelse. De har udviklet en patenteret teknologi, der har ført til oprettelsen af virksomheden Carbon Capture Machine Ltd, som fokuserer på kommercielle applikationer af teknologien.

**2. Imperial College London
- CCS Research Program**

www.imperial.ac.uk/carbon-capture-and-storage

Imperial College har Storbritanniens største forskningsprogram inden for carbonfangst og -lagring (CCS). Forskningen fokuserer på teknik, underjordisk CO₂-adfærd samt juridiske og regulatoriske spørgsmål.

3. MIT - CCUS Center

www.climate.mit.edu/explainers/carbon-capture

MIT's CCUS Center er en del af MIT Energy Initiative. Centeret fokuserer på tre forskningsområder: fangst, udnyttelse og geologisk lagring. De arbejder med avancerede materialer og katalytiske processer for gaslagring og -separation.

**4. Arizona State University
- The Center For Negative Carbon Emissions**

www.globalfutures.asu.edu/cnce

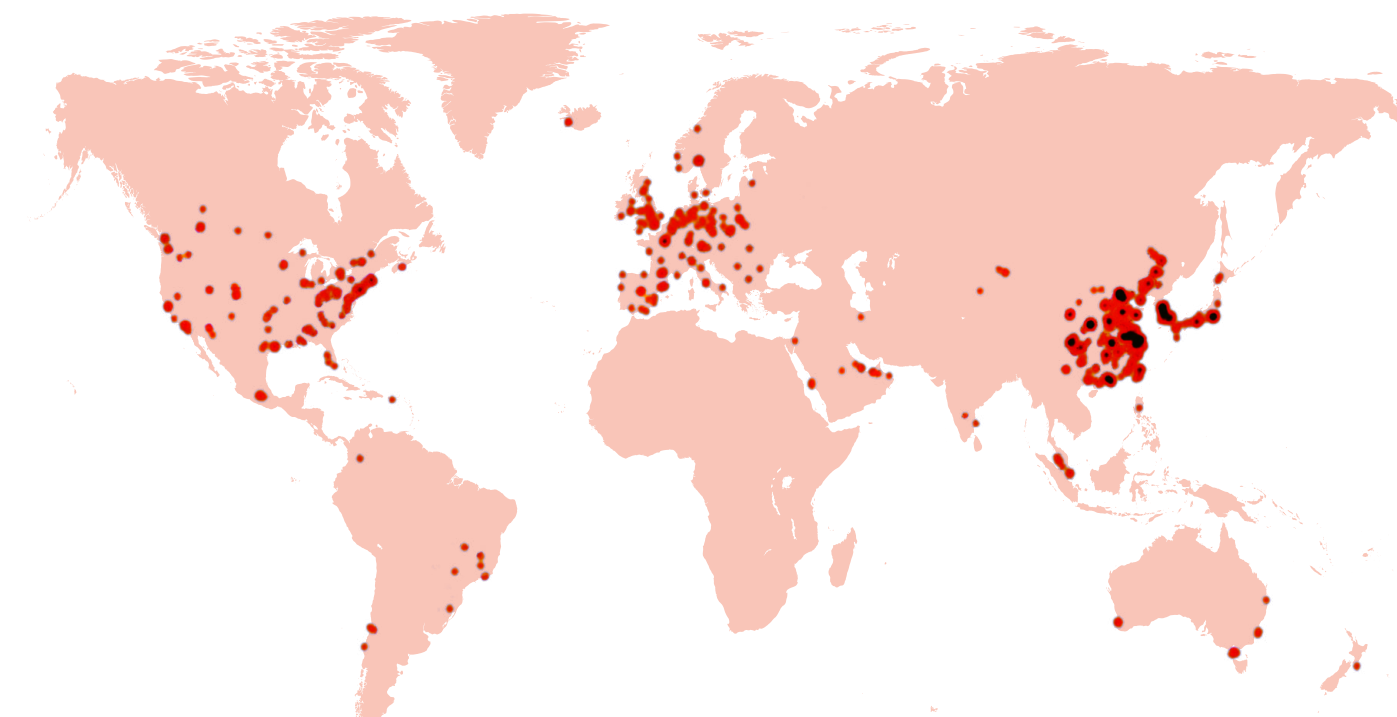
Centeret arbejder med direct air capture-teknologier og har udviklet "mekaniske træer", som er tusind gange mere effektive end naturlige træer til at fjerne CO₂ fra atmosfæren.

**5. Stanford University
- Center for Carbon Storage**

sccc.stanford.edu

Stanford fokuserer på nøgleteknologier for CCS. Forskningen dækker flowfysik, overvågning, geo-kemi, og transport og opbevaring af CO₂ i undergrunden.

GLOBALT KORT OVER VIDENSINSTITUTIONER INDEN FOR CCUS



Kilder: Crunchbase og Patsnap – søgninger foretaget af Teknologisk Institut. Note: I alt er der identificeret 894 vidensinstitutioner inden for CCUS. www.is.ed/45mk9P giver adgang til kortet. Password: teknologi.

**6. University of Cambridge
- Carbon Capture, Storage and Use Research**

www.cam.ac.uk/topics/carbon-capture-and-storage-%28CCS%29

Universitetet har et interdisciplinært forskningscenter dedikeret til energiovergange, herunder forskning i CCUS. De forsker i at forstå og øge offentlig bevidsthed om muligheder og risici i forhold til CCUS.

**7. University Of Michigan
- Global CO₂ Initiative**

www.globalco2initiative.org

Fokuserer på udnyttelse af indfanget CO₂ og arbejder på projekter fra tidlige stadier til kommerciel implementering, inklusive finansiering af højrisiko-forskning.

**8. Sheffield University
- Research into Carbon Dioxide Utilization**

www.sheffield.ac.uk/cduuk

Sheffield har flere tværfaglige forskningsprojekter, der fokuserer på brugen af CO₂ som råmateriale til kemisk syntese, brændstofproduktion og andre anvendelser.

**9. University of Wyoming
- Center for Carbon Capture and Conversion**

t.ly/5o2aa

Universitetet arbejder med at finde bæredygtige måder, hvorpå man kan bruge kul som energikilde og integrere carbonfangst for at opnå en renere, mere effektiv udnyttelse.

**10. Texas University
- Carbon Management Program**

sites.utexas.edu/rochelle

Fokuserer primært på at reducere emissioner fra kul- og naturgasdrevne kraftværker. De arbejder på aminer og naturgasdrevne kraftværker. De arbejder på aminer og naturgasdrevne kraftværker. De arbejder på aminer og naturgasdrevne kraftværker.

Alt i alt viser en gennemgang af forskningsfeltet for CCUS, at der er en globalt tiltagende interesse for området. Omfanget af ny forskning har været stærkt tiltagende gennem de sidste 5 år, og med stor sandsynlighed vil vi se tendensen fortsætte de kommende år. Data viser også, at Danmark har en position på området, men at den internationale konkurrence er skarp. Danmark har produceret relativt meget forskning set i forhold til landets størrelse. Til gengæld er dansk forskning ikke blandt den mest citerede på området, og man er kun lidt involveret i patenter.

TEKNOLOGIUDVIKLING FINDER STED I HELE VERDEN - MEN AMERI- KANERNE SØGER FLEST PATENTER

Teknologi

Patenter og patentansøgninger er en stærk, global indikator for innovation. En søgning i globale patentdatabaser efter CCUS-relateret innovation identificerer i alt 16.587 patenter og patentansøgninger. Innovationer er målt som patentfamilier baseret på i alt 68.794 patenter eller ansøgninger om patenter primo september 2023. Nogle lande giver særlige skattefordele til virksomheder med patenter, herunder Kina, som på den måde kan blive overrepræsenteret i statistikken ved at bidrage med patenter med meget ringe innovationshøjde. I nogle analyser har vi derfor indskrænket søgningen til kun at indeholde de 7.558 innovationer, som er ansøgt eller patenteret hos mere end en myndighed.

I 2004 blev der ansøgt om 144 patenter, der kan relateres til CCUS, og indtil begyndelsen af 2010'erne steg det årlige antal ansøgninger om nye innovatio-

ner til 777. Herefter stagnerede udviklingen indtil 2021, hvorefter der kom en markant stigning. I den 20-årige periode er antallet af ansøgninger således 10-doblet, hvilket indikerer en stigende kommerciel interesse. PatSnap har fremskrevet tallene baseret på de historiske data frem til 2025. Det giver et databrud mellem 2022 og 2023, og Teknologisk Institut vurderer, at patenteringen vil stige mere end det beregnede, idet springet i interesse fra 2020 til 2021 sandsynligvis vejer for lidt i beregningen.

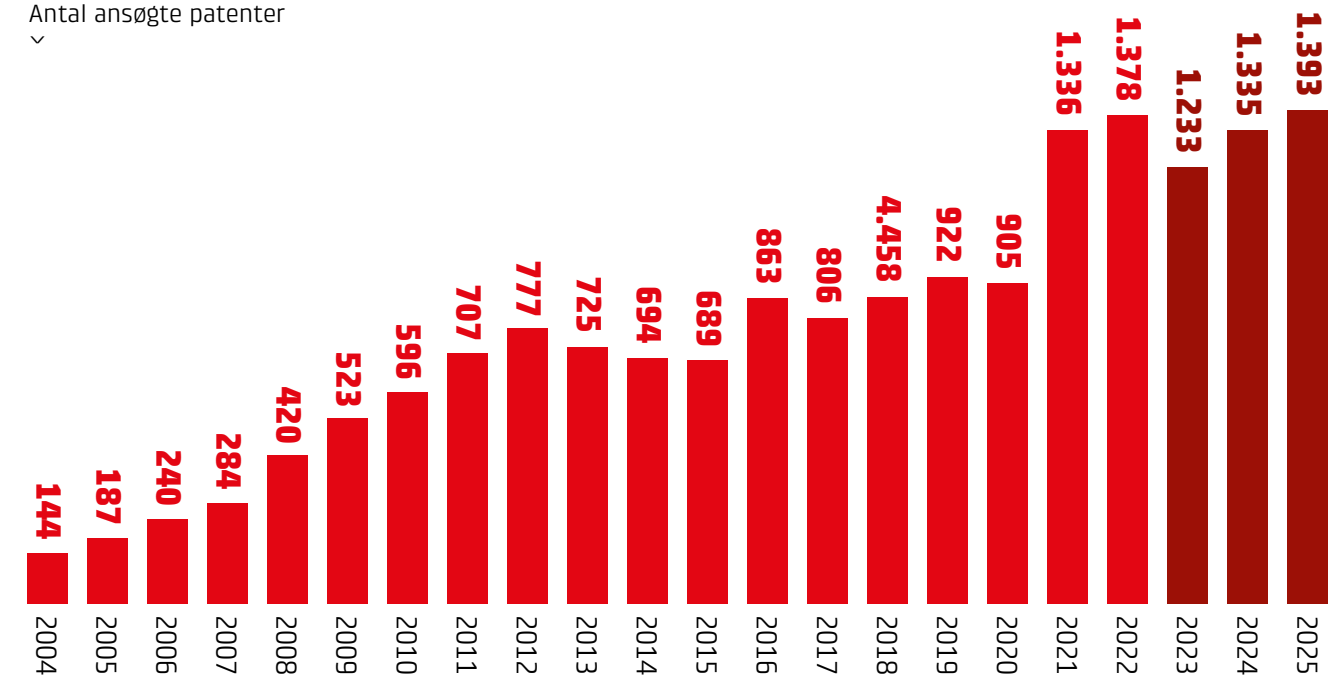
Innovationsaktivitet og teknologiudvikling finder sted over hele verden. Men især amerikanerne er flittige ansøgere. Af de 68.774 patenter kan Patsnap spore 18.408 patenter til USA som oprindelsesland. Også Asien og EU-landene er områder med stor CCUS-aktivitet.

INNOVATIONSINDIKATOR: PATENTANSØGNINGER 2004-2025

Antal CCUS-relaterede patentansøgninger 10-doblet fra 2004 til 2020

■ Patentansøgninger ■ Estimat

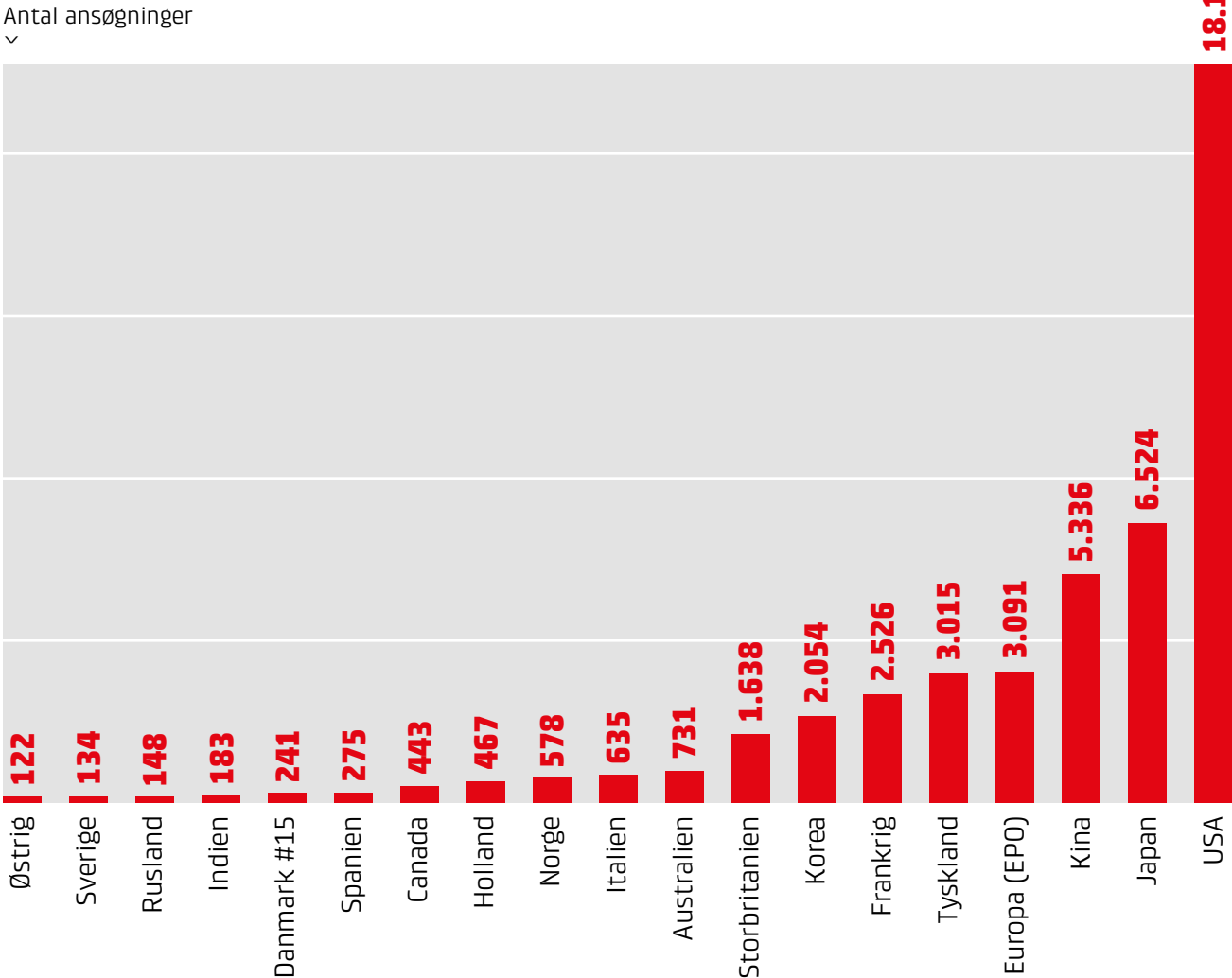
Antal ansøgte patenter



Note: Tal til 2023 og 2023-2025 er fremskrevet af Patsnap. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Patsnap. I alt 16.587 innovationer i relation til CCUS er identificeret. Innovationer er målt som patentfamilier baseret på i alt 68.794 patenter; 60-80 % af ansøgningerne bliver til patenter.

HVOR FINDER INNOVATIONEN STED?

Top-20 oprindelseslande til innovation af CCUS-teknologi



Note: Dette viser de lande, hvor den første ansøgning blev indsendt. Det indikerer innovationens geografiske oprindelse. Det fortæller om et lands innovationskapacitet, om koncentrationer af organisationer, eller hvilke lande virksomheder først ønsker at kapitalisere i. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Patsnap. I alt 16.587 innovationer i relation til CCUS er identificeret. Innovationer er målt som patentfamilier baseret på i alt 68.794 patenter; 60–80 % af ansøgningerne bliver til patenter.

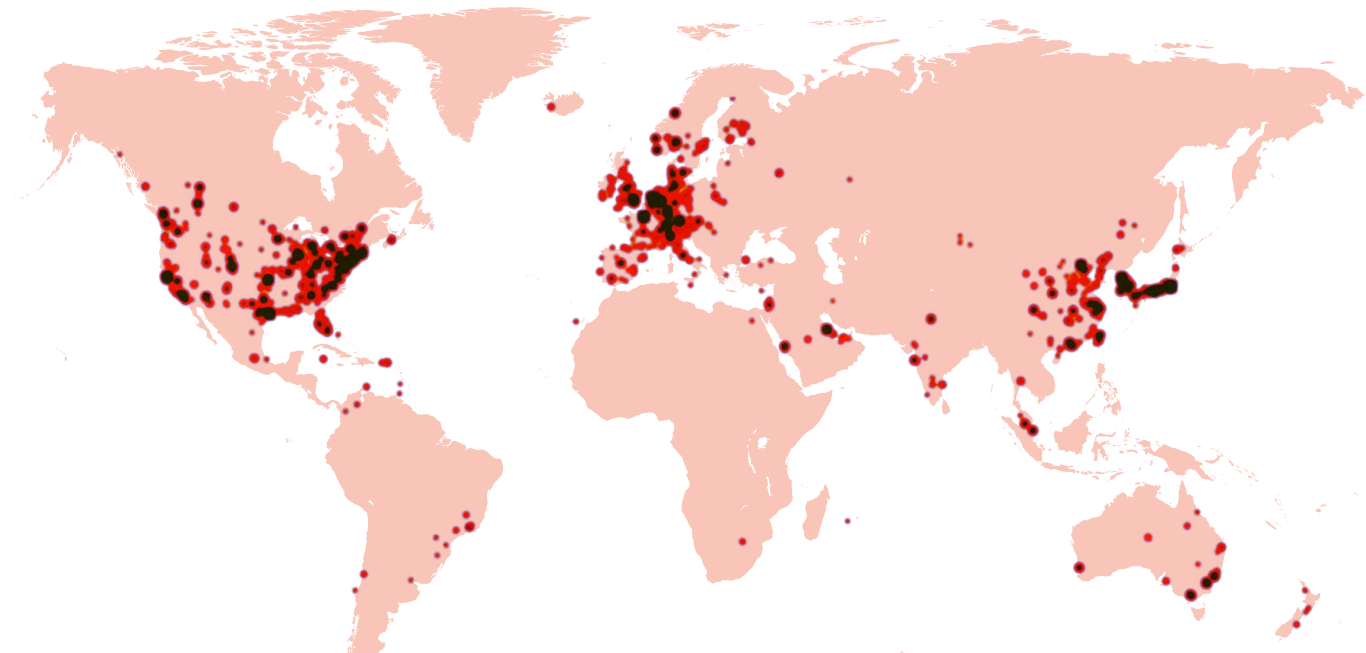
Danmark er oprindelsesland for 241 af patenterne. Det er nok til, at Danmark er i top-20 for CCUS-innovation. Hvis CCUS-innovationen i Danmark sættes i forhold til patenter og befolkning i OECD, er Danmark den femte mest patenterende nation målt per 100.000 indbyggere.

Søgningen efter CCUS-relevant innovation omfatter alle typer af CCUS: indfangning, anvendelse, transport og lagring. Alle patenter får tilknyttet teknolo-

gikoder. Teknologikoderne kan i noget omfang beskrive teknologierne, og typisk beskrives et patent med 5-10 teknologikoder. Koderne er hierarkisk opbygget, og findes i mere end 70.000 varianter.

En analyse af de 10 mest anvendte teknologikoder de seneste 5 år viser, at langt den største del af innovationen ift. CCUS er knyttet til indfangning af CCUS, fx separation eller rensning af gas, røg og dampe for CO₂. Der er ligeledes en del materialeud-

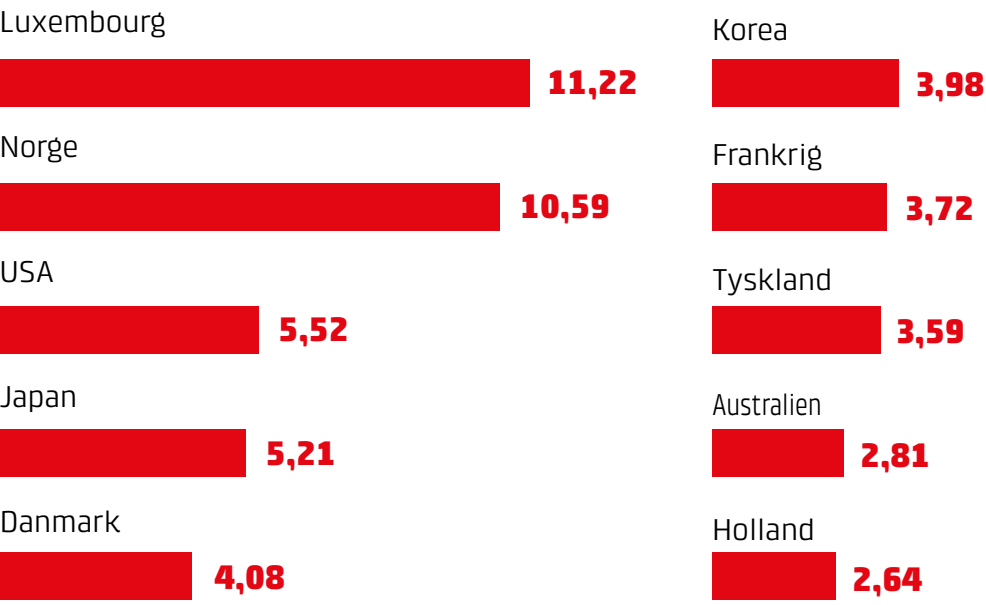
HEATMAP FOR CCUS-INNOVATION MÅLT PÅ PATENTANSØGNINGER OG PATENTER



Note: Heatmap for ansøgere hvor CCUS-teknologi er enten patentansøgt eller udstedt i mindst to lande. Det gælder for 7.558 innovationer. Kortet viser koncentrationer af patenthavere. Ved sort farve: høj koncentration og ved rød: lav koncentration. Hvis lyserød farver kan der være ansøgere eller patentejere, men ikke i nogen videre koncentration.

DANMARK PÅ EN GLOBAL FEMTE PLADS BLANDT DE FØRENDE LANDE

Patentansøgninger per capita pr. 100.000 indbyggere

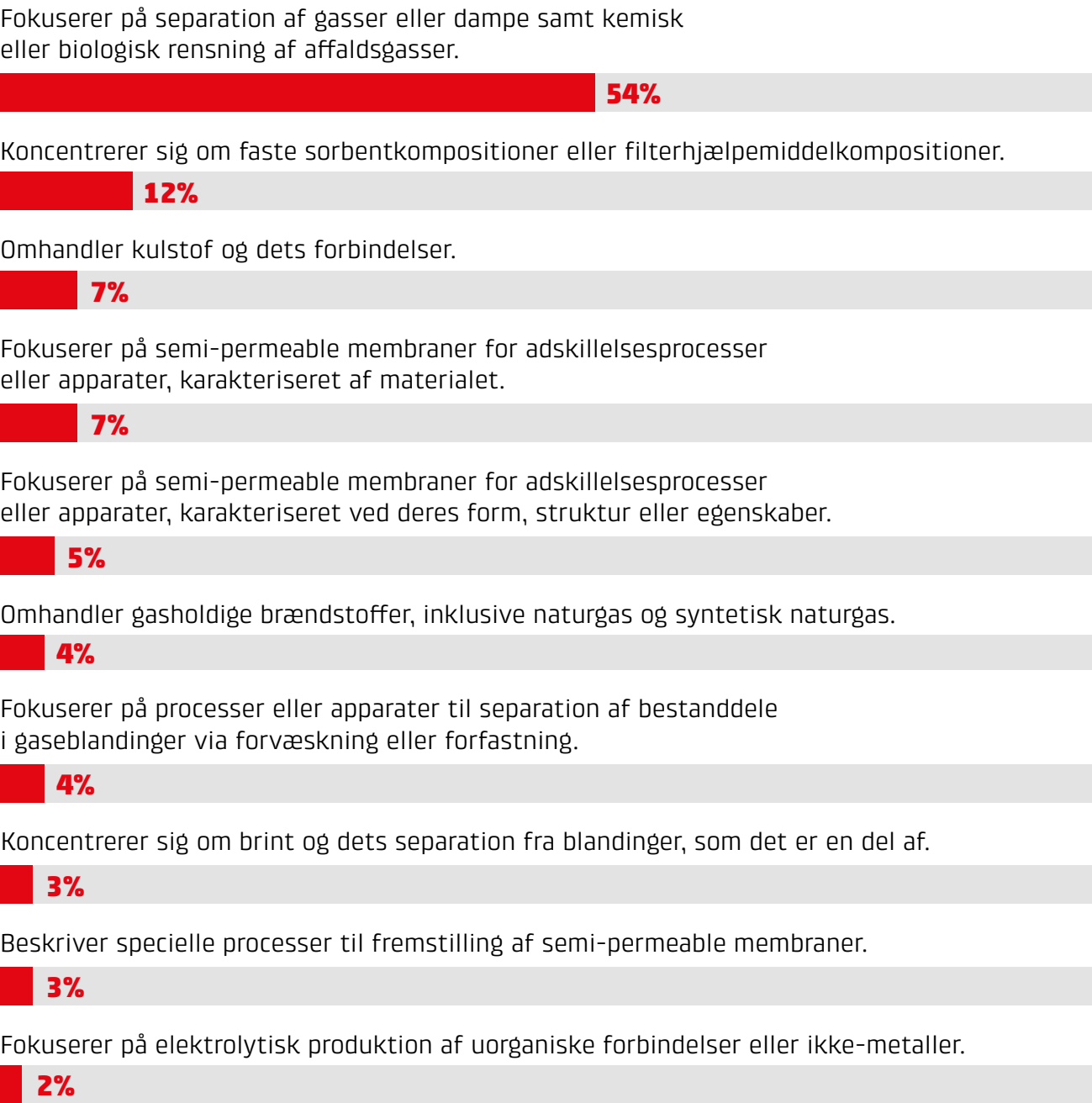


Note: Antallet af ansøgninger er en indikator for innovation. Der er 241 ansøgninger, der udspringer fra Danmark.Kilde: Beregninger. Teknologisk Institut på baggrund af data fra Patsnap.

vikling, som omhandler membraner eller absorber. Lagring er ikke klart synlig i de meste anvendte koder, men anvendelsen af CO₂ til elektrolytisk produktion antydes i et par koderne (elektrolytisk produktion og gasholdige brændstoffer.

Fokus på udvikling af indfangningsteknologi antyder, at der kan være stigende konkurrence på vej mellem nye teknologier. Patenter har til formål at

DE TI MEST ALMINDELIGE TEKNOLOGIKODER I CCUS



Note: Teknologisk fokus siden 2018. De mest almindelige teknologikoder på innovationer, der er taget patent på eller ansøgt om i mere end et land. N = 1.672. Kilde: Beregninger. Teknologisk Institut på baggrund af data fra Patsnap. ChatGPT er anvendt til fortolkning og oversættelse af IPC koder.

beskytte en innovationen mod kommerciel udnyttelse af andre end patenthaver. Konkurrencedygtigheden kan fx handle om, at indfangning kan blive billigere at etablere, mere effektiv i forhold til hvor meget CO₂, der indfanges, eller mindre energiforbrugene i processen. Patenterne kan være på hele anlæg, på fremstillingen af disse eller på dele af teknologien eller de anvendte materialer.

Marked

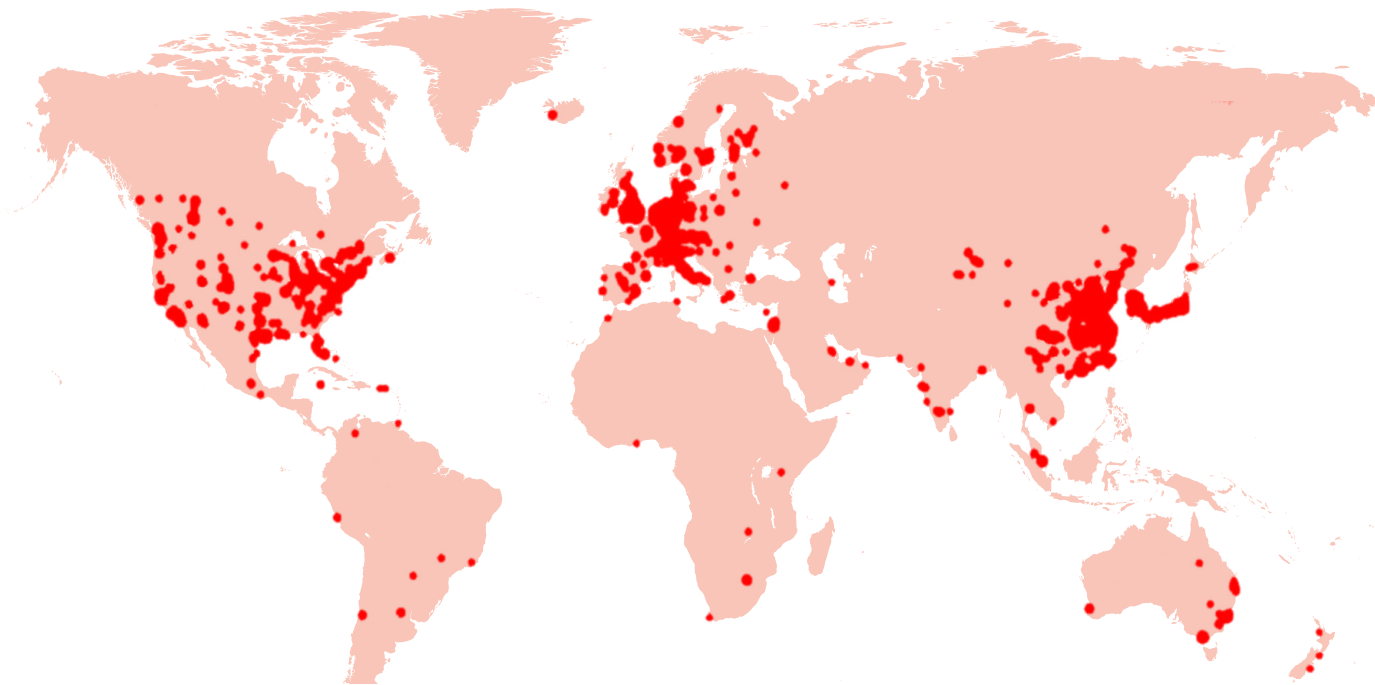
CCUS-aktiviteterne verden over er primært offentligt støttet, men aktiviteterne ligger i private virksomheder og forskningsinstitutioner. Her ser vi på de markedsaktører, der er kommet i kølvandet på CCUS. I Danmark har vi kortlagt 200 aktører med interesse i CCUS. Opgørelserne nedenfor for hele verden er ikke så finmaskede, og bygger på databaser med virksomheder, der er engageret i CCUS (Crunchbase), eller kortlægninger gennem afsøgninger af patentdatabaser. I de enkelte lande vil der være flere aktører, som engagerer sig i CCUS, og opgørelserne kan derfor ses som en indikator på aktiviteterne.

På globalt plan har vi identificeret 2.268 virksomheder, som beskæftiger sig med CCUS. Af disse har 576 virksomheder hovedsæde i Kina, 596 i USA og

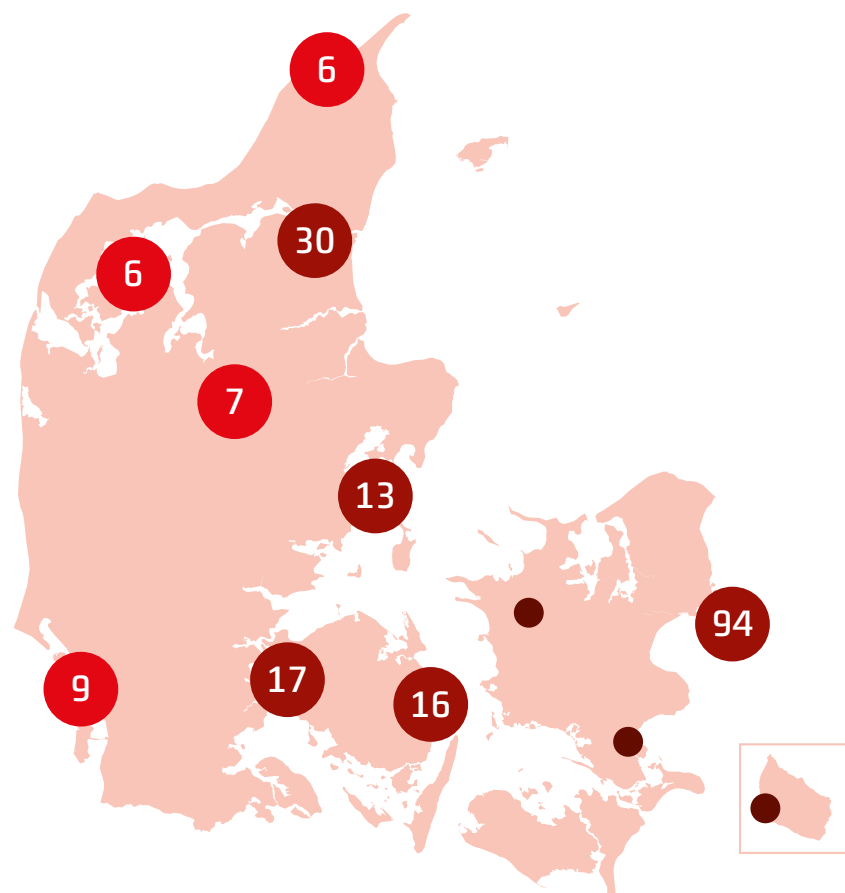
Canada, 187 i Sydkorea og 150 i Japan. Omkring 30 % af virksomhederne befinder sig i Europa. Her skiller særligt Norge sig ud med 42 virksomheder, som er mange i forhold til landets størrelse. Til sammenligning finder søgningen 16 danske virksomheder. Vi ved dog, at der er et betydeligt større økosystem i Danmark af virksomheder, som er mere eller mindre involveret i CCUS-aktiviteter. Det samme gør sig med al sandsynlighed også gældende i andre lande. Virksomhederne, vi har identificeret, udgør således kun kernen af det globale økosystem. Det danske økosystem kan studeres på Teknologisk Instituts onlinekort på www.teknologisk.dk/ccus.

Udviklingen af CCUS-projekter over hele verden følges tæt både af IEA og Global CSS Institute.

GLOBALT KORT OVER VIRKSOMHEDER INDEN FOR CCUS



Kilder: Crunchbase og Patsnap – søgninger foretaget af Teknologisk Institut. Note: I alt er der identificeret 2.268 virksomheder inden for CCUS. is.gd/WJyrB giver adgang til kortet. Password: teknologi



Dansk CCUS Kort

www.teknologisk.dk/ccus
Teknologisk Institut vedligeholder løbende et interaktivt, online kort over forskellige aktører og deres arbejdsområder herunder danske virksomheder der beskæftiger sig med CCUS.

Den seneste opgørelse viser en stærk stigning af CCUS-projekter i pipeline. Antallet af færdiggjorte projekter blev mere end seksdoblet fra 2010 til 2023 (fra 12 til 76), men også stigningen i antal planlagte projekter er steget voldsomt siden 2018, og i de kommende år kan der forventes en mange-dobling af CCUS-anlæg verden over. Der er kommer-cielle aktører i markedet, men markedet i sig selv er drevet af offentlig støtte i form af skatte- og afgiftslettelser, offentlige lånemuligheder og of-fentlige tilskud.

Tager man den forudgående udvikling i betragtning er skønnet over operative anlæg frem mod 2030 konservativt sat, fordi det kun indebærer allerede indgåede kontrakter med konkrete tidsplaner. Der kan inden 2030 nå blive bevilliget nye projekter, som kan nå at komme i drift i løbet af de kom-mende 4-5 år, og dermed kan antallet af operative anlæg i 2030 reelt være betydeligt højere.

En stor del af markedet i Nordamerika, USA har allerede nu 24 operationelle anlæg, mens Canada

har yderligere 10 (Global CCS Institute, 2023). Det vil sige, at Nordamerika sidder på næsten halvdelen af de færdiggjorte projekter, og har yderligere 123 projekter i pipeline. Til sammenligning har Danmark iflg. IEA 3 projekter i gang om udvikling af operati-onelle anlæg. Ser man på det globale CCS Readiness indeks rangerer Danmark dog højt på en delt 6. plads med Tyskland.

Dermed er der et stort spænd mellem frontløberne inden for CCS (USA, Canada, Norge og Storbritan-nien) og næstfølgende lande. Det betyder også, at Danmark sandsynligvis vil glide ned på listen, når nogle af de andre økonomiske stormagter begynder at røre mere på sig. Allerede nu har Kina 14 opera-tionelle anlæg samt flere planlagte projekter. Kina mangler dog stadig en bredere politisk opbakning og flere investeringer, før det kan tage rigtig fart, men med deres mål om CO₂-neutralitet i 2060 er dette sandsynligvis blot et spørgsmål om tid.

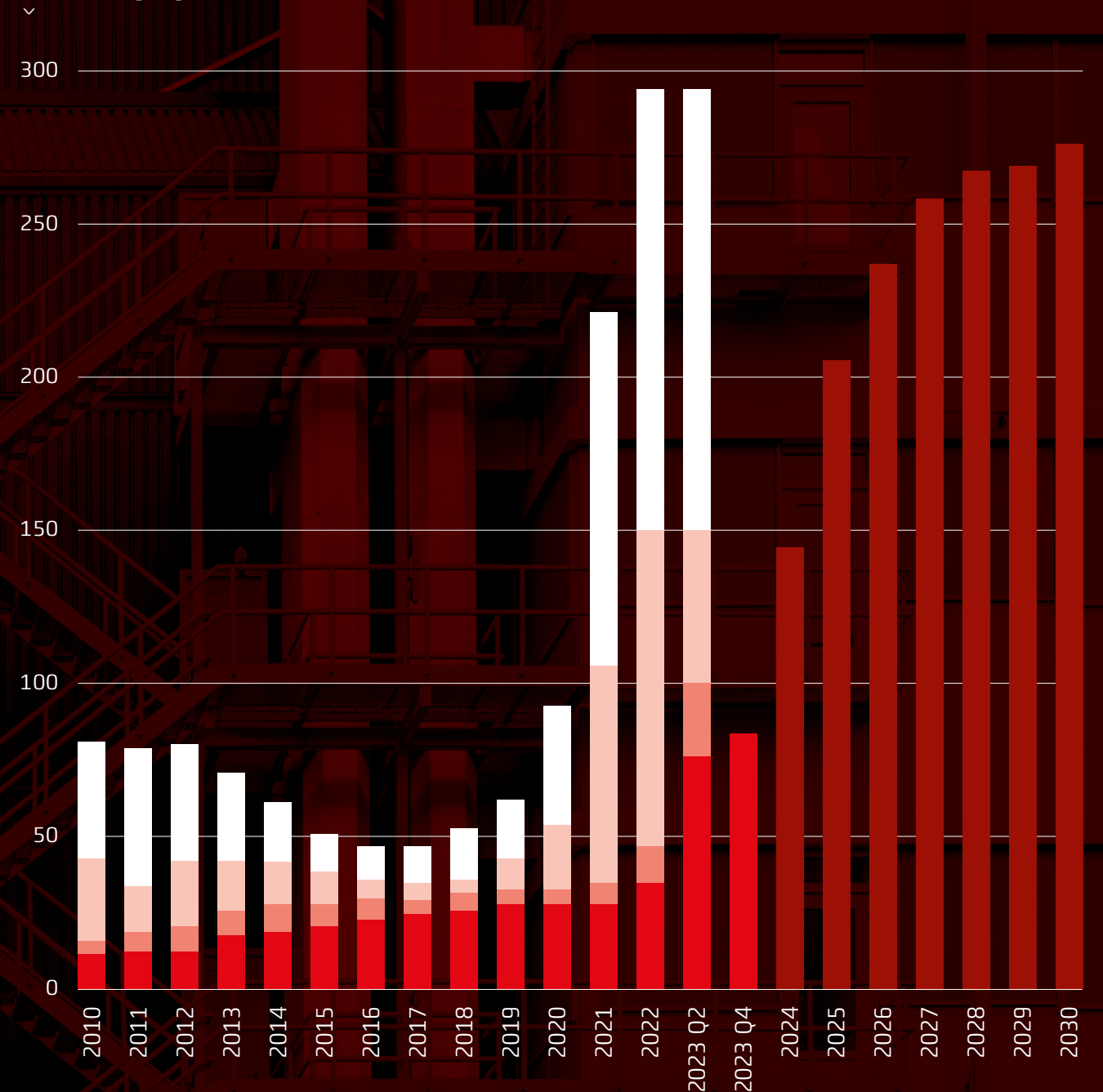
Det Internationale Energi Agentur fremhæver væsentlige, offentlige investeringer i CCUS rundt

GLOBAL CCUS PROJECT PIPELINE

Kilde: IEA og Global CSS Institute, 2023

■ Operating ■ Under construction ■ Advanced development
■ Concept and feasibility ■ Estimate of future operating

Antal indfangningsfaciliteter



Global udvikling af CCUS-anlæg

IEA følger løbende CCUS- projekter over hele verden, og grafen bygger på deres opgørelse til og med 2. kvartal 2022. Antallet af eksisterende anlæg er ste-get langsomt de sidste 10 år, men data fra projekt-udvikling rundt om i verden antyder, at antallet af

eksisterende anlæg vil blive mangedoblet i de kom-mende år. Skønnet 2024-2030 er lavet på baggrund af CCS-instituttets viden om indgåede kontrakter. I takt med at investeringer stiger, kan der i den sidste del af perioden komme flere anlæg til.

Kilder: Beregninger af Teknologisk Institut bygger på A. Evolution of the CO₂ capture project pipeline, 2010-Q2 2023 IEA. License: CC BY 4.0, July 2023.B. Global CCS Institute (2023). Facilities Database. Hentet fra CO₂RE: co2re.co/FacilityData

om i verden. IEA forudser en global investering på 237 mia. kr. i globale CCUS-investeringer i 2025, hvilket er en tidobling af investeringerne i 2022 på 21,6 mia. kr. (International Energy Agency, 2023b). Dermed er investeringer i CCUS-projekter i pipeline globalt set på et rekordhøjt niveau. I 2023 er investeringen på omkring 100 mia. kr., hvilket forventes at stige til 209 mia. kr. allerede i 2024.³

Investeringerne er primært offentlige investeringer. Ifølge IEA kommer de store drivkræfter bag finansielle investeringer fra det offentlige, og ikke det private marked, fordi der stadig mangler økonomisk incitament til at investere stort i CCUS. Dels fordi dets kommercielle overskudspotentiale stadig ligger ude i fremtiden, og dels fordi prisen på CCUS per ton CO₂ endnu ikke opvejer CO₂-afgifter per ton i langt de fleste lande.

I et studie for Energistyrelsen om den danske konkurrenceevne for CO₂-lagring vurderede Rambøll i 2021, at: "Danmark kan tilbyde en konkurrencedygtig løsning, som er både omkostningseffektiv, fleksibelt og praktisk for de mest relevante lande (især Tyskland, Sverige, Finland og potentielt Polen". Forudsætningen for at indfri muligheden var, at det forsat vil være nødvendig med statslig indblanding ift. finansiering (af forudbetalte kapitalomkostninger), risikostyring og støtte af CCS initiativer fordi markedsaktørerne på nuværende tidspunkt (2021) hverken har kapacitet eller økonomisk incitament til at udvikle CCS-teknologi (Rambøll, 2021).

CCUS udgør stadig blot en lille del inden for grøn energi. For eksempel har olie- og gasindustrien fordoblet deres investering i grøn energi i 2022 til omkring 140 mia. kr., hvoraf kun omkring 7 mia. kr. blev investeret i CCUS (International Energy Agen-

cy, 2023b). Ser man på investering i grøn energi på verdensplan, bliver langt størstedelen investeret i vedvarende energi, energieffektivitet og batterilagring. Ud af otte forskellige udviklingsområder inden for grøn energi er CCUS stadig det område, der bliver investeret mindst i (International Energy Agency, 2023b).

På verdensplan investeres der suverænt mest i Nordamerika, dernæst Europa og Kina. Nordamerika vil med de planlagte projekter fortsat være den region, som har de største investeringer efterfulgt af Europa. Men fra 2024 og frem kan man se, at også Mellemøsten, hvor der er et stort potentiale for CCUS, begynder at komme med (International Energy Agency, 2023b). CCUS er dog stadig en teknologi, der først er ved at opbygge momentum. Det er derfor sandsynligt, at tallene fremover vil være markant højere og være fordelt anderledes. Derfor kan det også forventes, at Danmark vil blive en mindre betydelig del af CCUS på globalt plan i takt med, at teknologien og infrastrukturen udvikles.

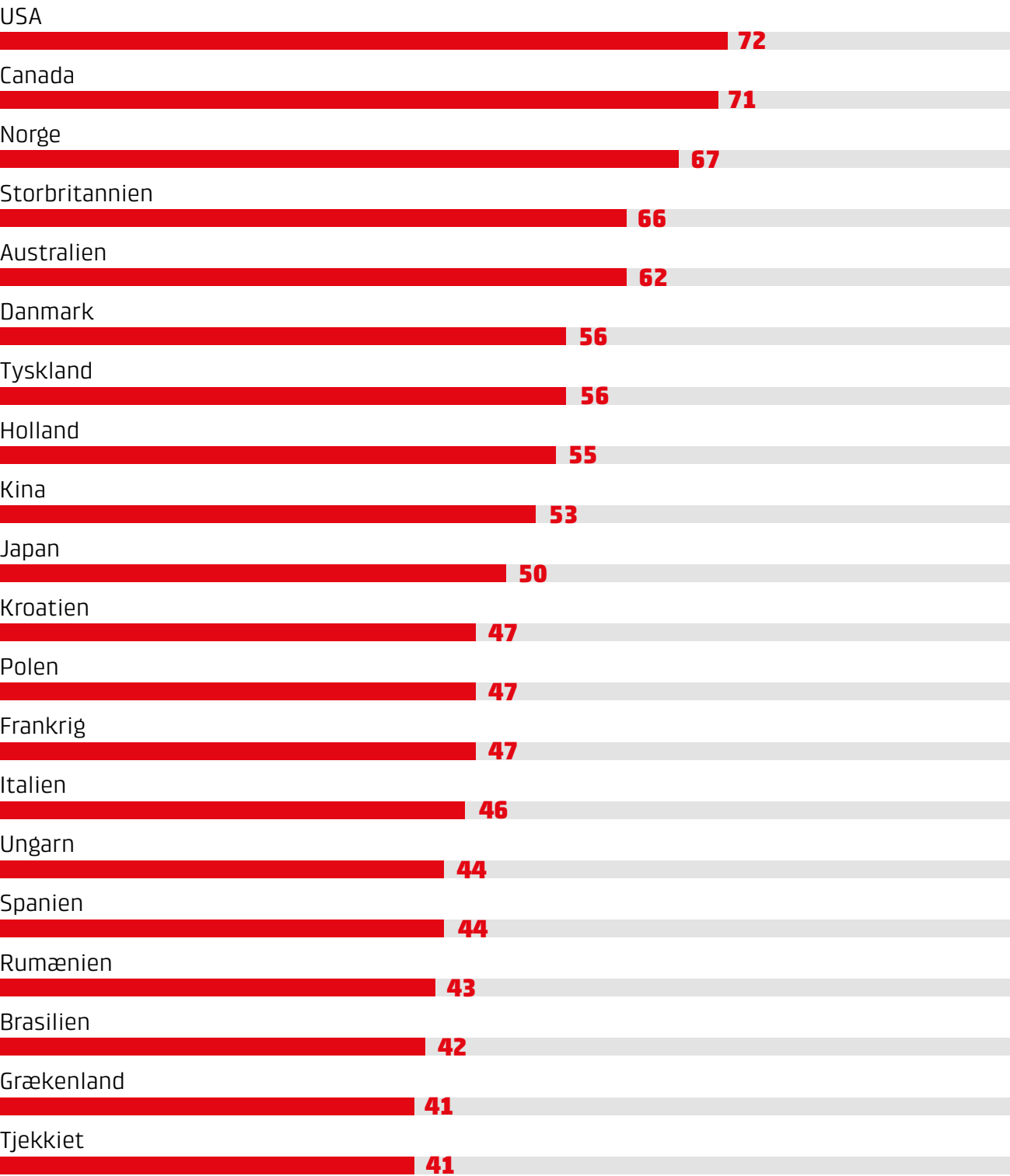
Mere end 180 projekter er annonceret siden 2022. Tendensen viser, at der investeres i forskellige dele af CCUS-værdikæden fremfor i kilder til lagring af systemer, der af IEA vurderes til at være mere risikable (International Energy Agency, 2023b). I 2025 forventes de amerikanske investeringer at udgøre omkring 67 % af verdens investeringer, mens de europæiske forventes at udgøre omkring 26 %. De sidste ca. 7 % er fordelt på resten af verden (Ibid). Til investeringsbilledet knytter sig enkelte bemærkninger:

USA har skabt ny finansiering under "2021 Infrastructure Investment and Jobs Act" samt fordelagtige ændringer i skattekreditter for CCUS i "2022

TOP-20 GLOBAL READINESS INDEX

Kilde: Global CSS Institute, 2023

CSS Readiness Index beregnes ud fra fire indikatorer: generel interesse, politiske tiltag, lovgivning og regulering, og mulighederne for lagring af CO₂. 100 er den maksimale score. Globalt ligger Danmark på en delt 6. plads med Tyskland, og er dermed en af frontløberne på det europæiske marked. USA og Canada er markant de mest fremskredne markeder, tæt efterfulgt af Norge og Storbritannien.



Note: Dette viser de lande, hvor den første ansøgning blev indsendt. Det indikerer innovationens geografiske oprindelse. Det fortæller om et lands innovationskapacitet, om koncentrationer af organisationer, eller hvilke lande virksomheder først ønsker at kapitalisere i. Kilde: Teknologisk Institut på baggrund af data fra Patsnap. I alt 16.587 innovationer i relation til CCUS er identificeret. Innovationer er målt som patentfamilier baseret på i alt 68.794 patenter; 60-80 % af ansøgningerne bliver til patenter.

³ IEA skriver om tallene, at de inkluderer kommercielle projekter med en fangstkapacitet over 100.000 ton om året eller med ingen annonceret fangstkapacitet, men med et klart kommercielt formål. Fangstprojekter for CO₂-brug er inkluderet, så længe CO₂ bruges i brændstoffer, kemikalier, polymerer, byggematerialer eller til at øge udbyttet. Inden for planlagte CCUS-industriklynger er kun identificerede CO₂-fangstprojekter inkluderet (ikke den fulde potentielle fangstkapacitet af industriklynger, for hvilke fangstkilder ikke er specificeret). Pro-jekter er inkluderet, hvis de enten har annonceret, hvornår de planlægger at træffe endelig investeringsbeslutning (FID), eller hvornår de planlægger at starte driften. For projekter, der kun har annonceret en planlagt FID, anvendes en fast byggetid.

Inflation Reduction Act". "Inflationspakken" støtter med op til 592 kr. per ton lagret CO₂, og der er signifikante tilskud til indfangning af CO₂ og brug af CO₂ (International Energy Agency, 2023c). Ifølge Inflation ACT går USA målrettet efter et lederskab på industriel de-carbonisering og carbon management, altså i stor udstrækning CCUS. Der er afsat 16 mia. kr. til skattelettelser fra 2024-2029 og lagt op til yderligere 59,9 mia. kr. i 2030. Hvordan skattelettelserne udmøntes, afhænger af flere faktorer. Skattelettelserne komplementerer føderale udviklingsmidler på knap 48,7 mia. kr. fordelt på tre programmer – samt adgang til et låneprogram på 35,8 mia. kr. til projekter (The White House, 2023).

EU lancerede i marts 2023 "Net Zero Industry Act", hvor der blev foreslået et årligt CO₂-injektionsmål på 50 mio. ton CO₂ per år for 2030 samt forbedrede godkendelsesprocedurer for CCUS. En del af det økonomiske grundlag i EU er kvotesystemet ETS, hvor prisen for tiden er knap 85 euro per ton, svarende til 634 kr. per ton, og prisen forudsiges at stige i de kommende år (Trading Economics, 2023). ETS'erne handles som aktier, og prisen er stigende. IEA har skønnet, at et økonomisk bæredygtigt niveau passerer, når kvoterne passerer 850 kr. per ton. Derudover har EU bl.a. investeret 4,5 mia. kr. i CCUS inden for luftteknologi, og ydermere 2,9 mia. kr. i cement- og stålproduktion (BloombergNEF, 2023).

I Danmark forventes, udover kvotesystemet, grønne afgifter på CO₂ for omkring 350 kr. per ton på kvotebelagte udledninger og 750 kr. per ton for ikke kvotebelagte udgifter; og enkelte større udledere får en reduceret afgift. Derudover forventer regeringen investeringer, udover de allerede investerede midler, på 28,8 mia. kr. frem mod år 2035 (Politisk aftale, 20. september 2023). Den politiske aftale i Danmark fra september 2023 (Politisk aftale, 20. september 2023) indebærer, at CO₂-fangst skal skaffe reduktioner på 3,2 mio. tons CO₂ i 2030. Am-

bitionen er hævet, så målet om at indfange og lagre 34 mio. tons i de kommende 20 år nu i stedet nås på 15 år. Aftalen adresserer nogle af de økonomiske usikkerheder, som investorer kan have – fx at de fremtidige lagringslicenser vil blive udbudt med 20 % statsligt medejerskab gennem Nordsøfonden, og at der er aftale om at vedtage en lov om transport af CO₂, så der er ensartede regler, og så både private og statslige aktører kan eje og drive rør til CO₂-transport. Åbnes der for bedre udnyttelsesmuligheder for CO₂, er det en del af aftalen, at der vil være en vis fleksibilitet i udbuddene efter 2030. Dette vil gøre det muligt at træde ud af kontrakten, hvis kontraktindehaver f.eks. ser en bedre forretning i at sælge CO₂ til anvendelsesformål (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2023). De samlede danske investeringer er på 38 mia. kr., og aftalen indebærer, at udmøntningen af de 26 mia. kr. fremrykkes med 5 år.

Uden for EU har Storbritannien annonceret 173 mia. kr. i sit forårsbudget for 2023 til tidlig udrulning af CCUS-projekter.

Asien og Stillehavsområdet har færre projekter end USA og Europa. I Kina blev tre nye projekter operationelle i 2023, mens Japan valgte syv kandidatprojekter til støtte for deres kommercielle udnyttelse. Også Australien og Malaysia investerer i CCUS-projekter, som samlet løber op i 8,4 mia. kr. (BloombergNEF, 2023). Som vist ovenfor er både science- og teknologiudviklingen i Asien godt repræsenteret i sammenligning med EU og USA. Men indtil videre er der til sammenligning relativt få CCUS-projekter i Asien. Det kan hurtigt ændre sig.



**ASIEN OG STILLEHAVS-
OMRÅDET HAR FÆRRE
PROJEKTER END USA
OG EUROPA**

TEKNOLOGISK INSTITUT RÅDGIVER OM CCUS

Teknologisk Institut bistår danske virksomheder i at udvikle og implementere nye teknologiske løsninger inden for hele CCUS-værdikæden og deltager som videnspartner i både INNO-CCUS, CO₂ Vision og GREENSAND.

Teknologisk Institut er placeret i både Høje Taastrup, Odense og Århus og råder over en omfattende teknologisk infrastruktur. Teknologisk Institut er et uafhængigt og almennyttigt forsknings- og udviklingsinstitut. Instituttet har siden 1906 arbejdet for at fremme udnyttelsen af teknologiske fremskridt. Instituttets stiller sin teknologiske viden, rådgivning, faciliteter og serviceydelser til rådighed både i forsknings-sammenhæng og kommercielle relationer.

Ydelserne omfatter områder som valg og optimering af fangstteknologier, vurderinger af egnede materialer til transport af CO₂, reduktion af energiforbrug og omkostninger samt sikker overvågning af lagring onshore så vel som offshore.

Optimeret teknologivalg og implementering

Ved at tilbyde teknologisk rådgivning og konsulentbistand hjælper Teknologisk Institut aktører med at træffe informerede beslutninger om valg, implementering og optimering af CCUS-teknologier. Dette sikrer, at kunderne får mest muligt ud af deres investeringer og opnår

de bedste resultater i forhold til CO₂-reduktion og bæredygtighed.

Fremskyndet innovation og teknologiudvikling

Gennem samarbejde med virksomheder og forskningsinstitutioner om forskning og udvikling af nye og forbedrede CCUS-teknologier og -løsninger bidrager Teknologisk Institut til at fremskynde innovation og teknologisk fremskridt. Dette giver kunderne adgang til de nyeste og mest effektive løsninger på markedet.

Validering og demonstration af teknologier

Ved at tilvejebringe test- og demonstrationsfaciliteter samt udstyr til at teste og demonstrere CCUS-teknologier under realistiske forhold kan Teknologisk Instituts kunder validere deres teknologier og opnå større tillid hos investorer og potentielle kunder.

Styrkede kompetencer og viden

Gennem uddannelse og kompetenceudvikling såsom kurser, workshops og seminarer øger Teknologisk Institut kompetencer og viden inden for CCUS blandt fagfolk og interessenter. Dette hjælper kunderne med at udnytte teknologierne bedst muligt og sikrer, at deres medarbejdere er rustet til at håndtere fremtidens udfordringer.

Løsning af tekniske udfordringer

Teknisk support og problemløsning fra Teknologisk Institut hjælper kunderne med at identificere og løse tekniske udfordringer i forbindelse med implementering og drift af CCUS-systemer. Dette sikrer en effektiv drift og minimerer risikoen for driftsforstyrrelser.

Forbedret samarbejde og innovation

Ved at opbygge og facilitere netværk mellem CCUS-aktører fremmer Teknologisk Institut samarbejde, videndeling og innovation. Dette giver kunderne adgang til et bredt netværk af ekspertise og ressourcer, som kan øge deres konkurrenceevne og skabe nye forretningsmuligheder.

Udforskning af nye markeder og forretningsmuligheder

Gennem markedsanalyse og rådgivning om forretningsmodeller hjælper Teknologisk Institut virksomheder med at udnytte forretningsmuligheder inden for CCUS. Dette sikrer, at kunderne er i stand til at udvide deres markedsandel og opnå økonomisk vækst.

Overholdelse af miljø- og sikkerhedskrav

Ved at udføre miljø- og sikkerhedsvurderinger af CCUS-projekter sikrer Teknologisk Institut, at kundernes projekter overholder lovgivning og minimerer potentielle negative effekter. Dette

hjelper kunderne med at opnå en højere grad af miljø- og samfundsansvar samt beskytter deres omdømme.

Navigering i politiske og regulatoriske landskaber

Teknologisk Institut tilbyder politisk og regulatorisk rådgivning, som hjælper kunderne med at forstå og navigere i de politiske og regulatoriske rammer for CCUS. Dette sikrer, at kunderne kan opfylde krav og forpligtelser samt udnytte støtteordninger og incitamenter, der kan fremme deres projekter.

Styrkelse af internationale partnerskaber

Ved at fremme internationalt samarbejde og partnerskaber inden for CCUS-forskning, udvikling og implementering hjælper Teknologisk Institut kunderne med at opbygge stærke relationer på tværs af grænser. Dette kan føre til en hurtig implementering samt nye forretningsmuligheder, adgang til nye markeder og øget konkurrenceevne på den globale scene.



Jan Boyesen
Markedschef, CCUS
janb@teknologisk.dk
+45 72 20 22 77

BIBLIOGRAFI

Bifrost. (2023). *Om Bifrost*. Hentet fra Bifrost: bifrost-ccs.com/dk/om-bifrost

BloombergNEF. (15. Februar 2023). *Carbon Capture Investment Hits Record High of \$6.4 Billion*. Hentet fra BloombergNEF: about.bnef.com/blog/carbon-capture-investment-hits-record-high-of-6-4-billion

Dansk Industri. (2023). *CO2-fangst, anvendelse, og lagring (CCUS)*. København: Dansk Industri.

Dansk Industri. (august 2023). *DI: CO2-fangst kan blive et nyt erhvervseventyr uden statsstøtte*. Hentet fra Danske Industri: www.danskindustri.dk/di-business/arkiv/nyheder/2023/8/di-co2-fangst-kan-blive-et-erhvervseventyr-uden-statsstotte

DTU. (12. Januar 2022). *DTU enters wide-ranging CCUS partnership*. Hentet fra DTU: www.dtu.dk/english/news/all-news/nyhed?id=7ad378ac-7596-47ff-9e10-7f992fda972b

Energy Cluster Denmark. (16. Juni 2023). *36 mio. kroner skal styrke Nordjyllands position inden for CO2-fangst, anvendelse, transport og lagring*. Hentet fra Energy Cluster Denmark: www.energycluster.dk/36-mio-kroner-skal-styrke-nordjyllands-position-inden-for-co2-fangst-anvendelse-transport-og-lagring

Erhvervsstyrelsen. (31. August 2023). *Udvikling af lokale værdikæder for CO2-fangst, -anvendelse og -lagring (CCUS)*. Hentet fra Udvikling i Danmark: udviklingidanmark.erhvervsstyrelsen.dk/udvikling-af-lokale-vaerdikaeder-co2-fangst-anvendelse-og-lagring-ccus

EUDP. (2023). *Project Greensand Fase 2*. Hentet fra EUDP: eudp.dk/projekter/project-greensand-fase-2

(27. april 2021). *Fangst, lagring og anvendelse af CO2 (CCUS) - Tekniske barrierer for CCUS i Danmark*. GEUS. Hentet fra www.geus.dk/Media/637959053014045386/Tekniske%20barriere%20for%20CCUS%20i%20Danmark.pdf

Gas Storage Denmark A/S (GSD). (3. Juli 2023). *Market input on CO2 storage needs*. Hentet fra Gas Storage Denmark A/S (GSD): www.gasstorage.dk/news/2023/06/29/open-for-market-input

GEUS. (2021). *Fangst, lagring og anvendelse af CO2 (CCUS): Tekniske barrierer for CCUS i Danmark*. København: GEUS. Hentet fra www.geus.dk/Media/637959053014045386/Tekniske%20barriere%20for%20CCUS%20i%20Danmark.pdf

GEUS. (Juni 2023). *Fangst og lagring af CO2*. Hentet fra GEUS: www.geus.dk/udforsk-geologien/fangst-og-lagring-af-co2

Global CCS Institute. (2023). *co2re*. Hentet fra Facilities Database: co2re.co/FacilityData

Greensand. (2023). www.projectgreensand.com/hvad-er-project-greensand. Hentet fra www.projectgreensand.com/hvad-er-project-greensand

IEF International Energiforum. (17. April 2023). *Policy changes and strategic vision drive CCUS investment impetus*. Hentet fra IEF International Energiforum: www.ief.org/news/roadblocks-and-opportunities-what-can-we-learn-from-ccus-investment-so-far

Innovationsfonden. (u.d.). *TRL - Technology Readiness Level*. Hentet fra Innovationsfonden: innovationsfonden.dk/sites/default/files/2019-03/technology_readiness_levels_-_trl.pdf

International Energy Agency. (6. 9 2023a). *Tracking Carbon Capture, Utilisation and Storage*. Hentet fra [iea.org: www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage](https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage)

International Energy Agency. (2023b). *World Energy Investment 2023*. Paris: International Energy Agency.

International Energy Agency. (6. 9 2023c). *Inflation Reduction Act 2022: Sec. 13104 Extension and Modification of Credit for Carbon Oxide Sequestration*. Hentet fra IEA: www.iea.org/policies/16255-inflation-reduction-act-2022-sec-13104-extension-and-modification-of-credit-for-carbon-oxide-sequestration

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (6. Februar 2023). *Dørene til et nyt grønt Nordsøeventyr er nu åbne*. Hentet fra Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet: www.kefm.dk/aktuelt/nyheder/2023/feb/doerene-til-et-nyt-groent-nordsoeeventyr-er-nu-aabne#:~:text=De%20f%C3%B8rste%20tilladelser%20til%20storskala,bliver%20kun%20i%C3%A6ngere%20og%20i%C3%A6ngere

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (20. september 2023). *Klimahandling: Mindst 34 millioner tons CO2 skal ned i undergrunden*. Hentet fra www.kefm.dk/aktuelt/nyheder/2023/sep/klimahandling-mindst-34-millioner-tons-co2-skal-ned-i-undergrunden-

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. (u.d.). *Faktaark: Den samlede strategiske indsats for udbredelse af fangst og lagring af CO2*. Hentet fra kefm.dk/Media/637750803072968157/Faktaark_Den%20samlede%20strategiske%20indsats%20for%20udbredelse%20af%20fangst%20og%20lagring%20af%20CO%E2%82%82_V02.pdf

Klimarådet. (Februar 2023). *Statusrapport 2023*. Hentet fra Klimarådet: klimaraadet.dk/sites/default/files/node/field_file/Klimaraadet_statusrapport23_digi_01.pdf

Klimaaftale for energi og industri mv. 2020. (2020). Hentet fra Regeringen Mette Frederiksen I (2019-2022): www.regeringen.dk/aktuelt/tidligere-publikationer/klimaaftale-for-energi-og-industri-mv-2020

Politisk aftale. (20. september 2023). *Aftale om styrkede rammevilkår for CCS i Danmark*. Hentet fra kefm.dk/Media/638307862071081909/Aftale%20om%20styrkede%20rammevilk%C3%A5r%20for%20CCS%20i%20Danmark%20af%2020.%20september%202023.pdf

Rambøll. (2021). *Assessment of the market potential for CO2 storage in Denmark*. Energistyrelsen. Hentet fra ens.dk/sites/ens.dk/files/CCS/markedsanalyse_af_co2-lagring_i_danmark.pdf

Rørbæk, R. (22. September 2021). *Nyt forskningscenter skal gøre drivhusgas til brugbar ressource*. Hentet fra Aarhus Universitet: nat.au.dk/om-fakultetet/nyheder/nyhed/artikel/nyt-forskningscenter-skal-goere-drivhusgas-til-brugbar-ressource-1

Teknologisk Institut. (27. Juni 2022). *Teknologisk Institut bliver en del af Danmarks store satsning på lagring af CO2*. Hentet fra Ritzau: via.ritzau.dk/pressemeddelelse/teknologisk-institut-bliver-en-del-af-danmarks-store-satsning-pa-lagring-af-co2?publisherId=1732641&releaseId=13654037

Teknologisk Institut. (2023). *Nyt interaktivt kort skal sætte skub i det danske CCUS-marked*. Hentet fra Teknologisk Institut: via.ritzau.dk/pressemeddelelse/13716278/nyt-interaktivt-kort-skal-saette-skub-i-det-danske-ccus-marked?publisherId=1732641&lang=da

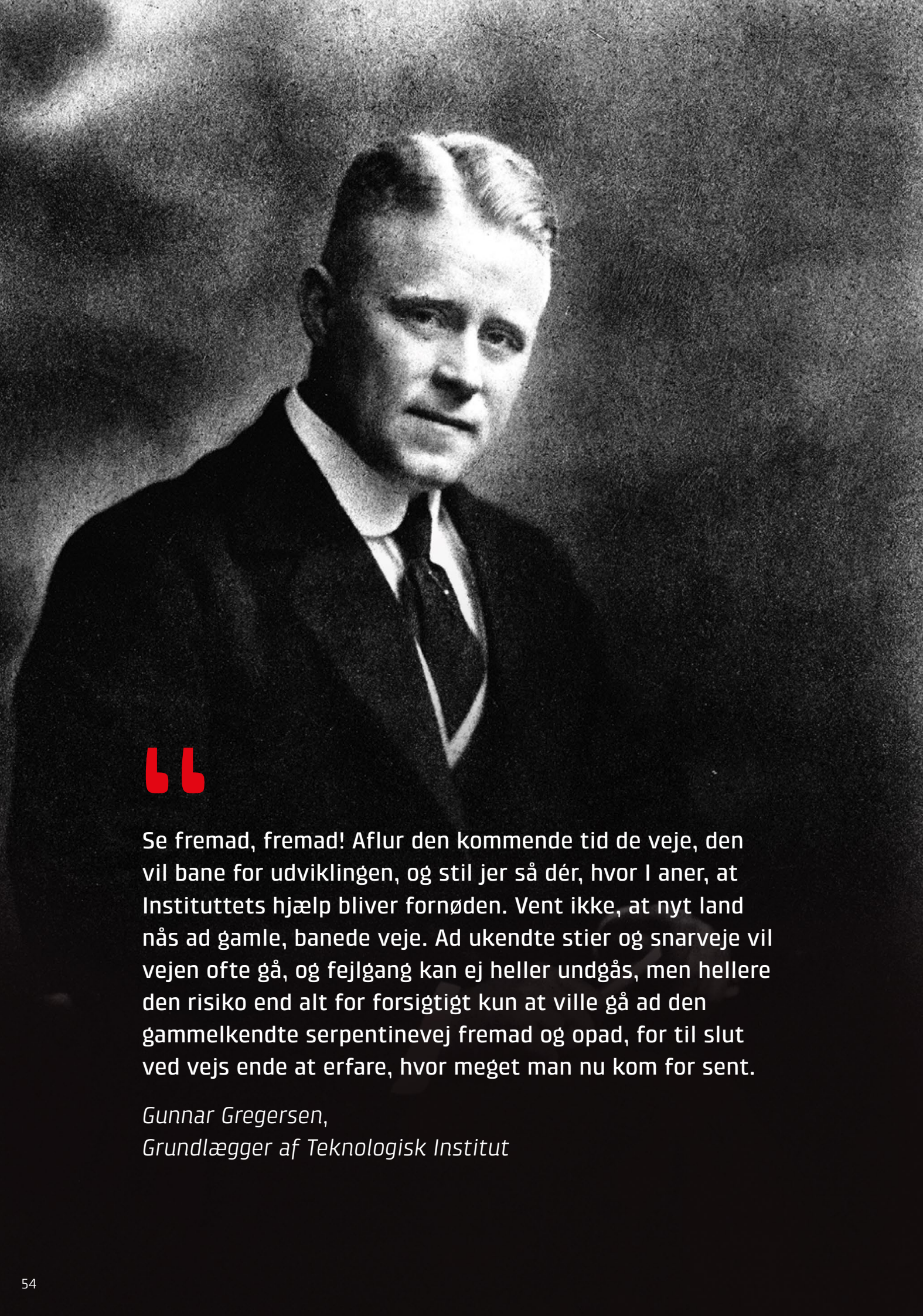
The White House. (2023). *Building af Clean Energy Economy*. Hentet fra [whitehouse.gov: www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/12/Inflation-Reduction-Act-Guidebook.pdf)

Trading Economics. (19. September 2023). *EU Carbon Permits*. Hentet fra Trading Economics: tradingeconomics.com/commodity/carbon

Trendafilova, P. (19. November 2022). *What Are The Top 10 Carbon Capture University Research Programs?* Hentet fra Carbon Herald: carbonherald.com/top-carbon-capture-university-research-programs

University of Houston. (2019). *Faculty Energy Fellows*. Houston: UH Energy. Hentet fra uh.edu/uh-energy/research/forbes-blog/content/forbes-book-2018-2019-web.pdf

World Energy Investments 2023. (Maj 2023). Hentet fra INTERNATIONAL ENERGY AGENCY: iea.blob.core.windows.net/assets/760a2737-dc8e-4365-ab0a-70aee72978a5/WorldEnergyInvestment2023.pdf



“

Se fremad, fremad! Aflur den kommende tid de veje, den vil bane for udviklingen, og stil jer så dér, hvor I aner, at Instituttets hjælp bliver fornøden. Vent ikke, at nyt land nås ad gamle, banede veje. Ad ukendte stier og snarveje vil vejen ofte gå, og fejlgang kan ej heller undgås, men hellere den risiko end alt for forsigtigt kun at ville gå ad den gammelkendte serpentinevej fremad og opad, for til slut ved vejs ende at erfare, hvor meget man nu kom for sent.

*Gunnar Gregersen,
Grundlægger af Teknologisk Institut*

Tre hovedpointer

“

0 % lagret CO₂ i dag

Regeringen har en målsætning om 3,2 millioner lagret CO₂ i 2030. Heraf er 0 % lagret i dag. Aktører savner økonomisk incitament og samspillet med infrastrukturen halter.

Indsatsområde: Sikre udviklingen af økonomisk bæredygtige og attraktive forretningsmodeller for CCUS.

“

75 % påpeger umoden teknologi

Tre ud af fire aktører påpeger, at teknologi til indfangning af CO₂ ikke anvendes i praksis endnu.

Indsatsområde: Investering i teknologisk udvikling - med fokus på effektivitet, ressourceforbrug og miljø vil gavne alle led i CCUS.

“

200 danske CCUS-aktører

Aktørerne i CCUS-økosystemet venter på hinanden på grund af store risici ved investeringer i CCUS.

Indsatsområde: En koordineret tilgang vil minimere redundans, fremme synergier og skabe en mere effektiv implementering og drift af CCUS-teknologi.

Teknologisk Udsyn skaber klarhed i et komplekst landskab ud fra fakta om teknologi, marked, tendenser og kortlægning af aktører. Vi viser mulighederne for at styrke de danske virksomheders konkurrenceevne gennem innovation, samarbejde og investering i teknologi. Vi har som mål at vise vejen til en banebrydende, bæredygtig og økonomisk levedygtig fremtid.

Lad os bygge en bedre fremtid sammen!

*Juan Farré,
Adm. direktør - Dansk Teknologisk Institut*





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Teknologisk Institut er et uafhængigt og almennyttigt forsknings- og udviklingsinstitut, der er godkendt som GTS-Institut af Uddannelses- og Forskningsministeren.

Instituttet har siden 1906 arbejdet for at fremme udnyttelsen af teknologiske fremskridt til gavn for erhvervsliv og samfund gennem udvikling, rådgivning og formidling.

Vi opfylder dette formål ved at udvikle ny viden gennem forsknings- og udviklingsaktiviteter, som omsættes til teknologiske serviceydelser og stilles til rådighed på markedsvilkår.



www.teknologisk.dk