



Veikart for karbonfjerning i Norge – Bakgrunnsrapport

MAI 2024

Om beredskapsvurdering for fjerning av karbondioksid (CDR)

Mange regjeringer har allerede forpliktet seg til å oppnå netto nullutslipp, men ingen av dem har i dag en robust plan for å utvikle og ta i bruk CDR med den kapasiteten som kreves for å motvirke gjenværende utslipp. FNs klimapanel anslår at det vil være behov for å fjerne hundrevis av milliarder tonn karbondioksid for å stabilisere den globale temperaturen i tråd med ambisjonene i Paris-avtalen. De fleste anslagene for hvor mye CDR som vil være nødvendig, er imidlertid globale, og det er uklart hva som er mulig å oppnå på nasjonalt nivå. Ved å kartlegge potensialet for CDR på nasjonalt nivå og utarbeide landsspesifikke veikart i samarbeid med lokale interessenter for hvert enkelt land, kan beslutningstakere få hjelp til å forstå hvilke muligheter som finnes og hvilke tiltak som må gjennomføres for å realisere dem.

Erkjennelser

Denne rapporten er utarbeidet av Carbon Limits AS og Perspectives Climate Research gGmbH. Prosjektgruppen takker Carbon Gap for tilliten og deltakelsen i, og tilbakemeldingene på, bakgrunnsrapporten om CDR i Norge. Teamet takker også Teknologirådet, som er et uavhengig organ for teknologivurdering, for å ha delt resultatene fra innbyggerworkshopen som samlet inn synspunkter på karbonfjerning i Norge. Vi ønsker å rette en spesiell takk til interessentene som ble intervjuet i forbindelse med utarbeidelsen av denne rapporten. Tilbakemeldingene og diskusjonene med interessentene og Carbon Gap har bidratt til å bane vei for utviklingen av denne rapporten. Prosjektgruppen vil også rette en stor takk til følgende deltakere i workshopen, for deres uvurderlige bidrag til utviklingen av bakgrunnsrapporten:

DELTAKERENS NAVN

Asbjørn Torvanger
Bjørn Huso
Bjørnulf Tveit Benestad
Carlos Dinamarca
Christian Lindemann
Eirik Lilledahl
Eivind Berstad
Hans H. Kolshus
Hanne Rolén
Helene Mørne
Helene Muri
Ingeborg O. Nordraak
Jannicke Gerner Bjerkås
Jon Bjartnes
Kaja Killingland
Kaja Voss
Lars Strøm
Linn Viken Bøe
Martine Mørk
Rahul Anantharaman
Terje Kronen
Thomas Hartnik

ORGANISASJON

CICERO Center for International Climate Research
Norwegian Agriculture Agency
Down to Earth
SINTEF Industry
Norwegian Institute for Water Research
Carbon Removal
The Bellona Foundation
Norwegian Environment Agency
Aker Carbon Capture
Carbonor AS
Norwegian University of Science and Technology
Norwegian Forest Owners' Federation
Hafslund Oslo Celsius AS
World Wide Fund for Nature
City of Oslo
Inherit Carbon Solutions
Ocean GeoLoop AS
Skogkurs
Zero Emission Resource Organisation
SINTEF Energy Research
Norwegian Society for the Conservation of Nature
Norwegian Institute of Bioeconomy Research

Sammendrag

Norges ressurser og infrastruktur, nasjonal og internasjonal klimapolitikk, samt samfunnsgeografiske forhold, spiller alle en avgjørende rolle for det fremtidige potensialet for bruk av teknologier for fjerning av karbondioksid (CDR) i landet. Denne rapporten evaluerer potensialet for både teknologiske og naturbaserte CDR-metoder i Norge, og beskriver de ulike geografiske, sosiale og politiske aspektene som kan påvirke implementeringen av disse metodene.

Energiressurser

Norge har stor kapasitet for fremtidig elektrisitetsproduksjon, men realiseringen av dette potensialet avhenger av utviklingen av politikk og konsesjoner for å bygge ut mer fornybar energi. Flere organisasjoner har estimert den fremtidige elektrisitetsproduksjonen i Norge, og de fleste prognosene forutser et overskudd av elektrisitet hvis utbyggingen øker. Norge har vært nettoeksportør av elektrisitet i 17 av de siste 25 årene. Nesten all elektrisitet som produseres i landet (ca. 98% hvert år), er fornybar, hovedsakelig fra vannkraft, og nettet har stor lagringskapasitet. For øyeblikket forventes strømforbruket å øke raskere enn produksjonen frem til 2030, men produksjonen forventes å vokse raskere i det påfølgende tiåret. Strømbalansen forventes derfor å være stram de neste tre tiårene basert på eksisterende konsesjoner, selv om det ikke forventes noen risiko for strømrasjonering de neste fem årene. Det er imidlertid fortsatt et uutnyttet potensial – anslagsvis 338 GW havvindkapasitet kan muligens bygges ut. Overføringskapasiteten mellom nord og sør forventes også å bli forbedret med opptil 60% innen 2030. Norge har tilstrekkelig kraftpotensial til å støtte skaleringen av CDR, men hvis utbyggingstakten forblir begrenset, vil det sette begrensninger på hvor raskt teknologier med høyt energibehov, som DACCS og bio-CCS, kan tas i bruk.

Den fremtidige termiske energikapasiteten i Norge vil utvikle seg i tråd med endringer i etterspørselen. Geotermisk energi og solvarme har begrenset potensial i landet, men det er et betydelig uutnyttet potensial for energi fra biomasse og biobrensel. Ved å optimalisere bruken av eksisterende biomassekilder i Norge kan bioenergi kapasiteten nesten dobles, under en forutsetning om at disse kildene kan høstes og brukes på en økonomisk og bærekraftig måte. Avhengig av strømovekskuddet kan en del av strømmen brukes til å produsere varme.

Biomasse brukes i stor utstrekning til energi- og biodrivstoffproduksjon i Norge, men det er fortsatt et betydelig potensial for ytterligere utnyttelse av biomasse, avhengig av tilgjengeligheten og den økonomiske levedyktigheten til innsamlingsprosedyrene. Den viktigste kilden for biomasse i Norge er trevirke, som brukes til å produsere både produkter og energi. Det anslås at ytterligere 4.5 millioner kubikkmeter tømmer kan høstes på en bærekraftig måte utover dagens produksjonsnivå. Dagens politikk for arealbruk, naturvern og andre fornybare energikilder indikerer at myndighetene for øyeblikket ikke har planer om å øke produksjonen av biomasse fra skogbruket. Organisk avfall utgjør også en betydelig kilde til biomasse i landet, men nasjonale ambisjoner om å redusere matavfallet med 50% innen 2030 vil redusere mengden som genereres i fremtiden. På grunn av begrensninger i tilgangen til jordbruksarealer er det ingen planer om å dyrke energiværter i stor skala i Norge. Imidlertid kan det finnes et betydelig potensial for biomasse i uutnyttede eller suboptimalt utnyttede ressurser, for eksempel restprodukter fra landbruket.

Andre ressurser for CDR-utvikling

Norge har rikelig med vannressurser, men høye lekkasjerater i den gamle distribusjonsinfrastrukturen kan gjøre det utfordrende å sikre tilstrekkelige volumer for CDR-utvikling. Landet har en av Europas høyeste nedbørsmengder, og 6% av overflaten består av innsjøer eller elver, som generelt er i god stand. Selv om vannforbruket per innbygger er høyt, ble bare 0.6% av landets tilgjengelige vannressurser utnyttet i 2020. På lang sikt forventes klimaendringene å føre til økt nedbør og mer intensivt regn over hele landet. Imidlertid har endringer i nedbørs- og temperaturmønstre allerede ført til vannmangel i hovedstaden Oslo. Konsekvensene av økt nedbør, som flom og jordskred, kan forverre den allerede dårlige tilstanden til vanddistribusjonsinfrastrukturen. Opptil 30% av det kommunale vannet går tapt på grunn av lekkasjer, noe som ytterligere understreker behovet for oppgraderinger og vedlikehold.

Norge har betydelige forekomster av flere mineralressurser som kan være verdifulle for CDR-teknologier. Landet har sannsynligvis verdens største reserver av olivin og står for opp mot halvparten av den globale produksjonen. Dolomitt, kalkstein og basalt finnes også på fastlandet og til havs. Til tross for at det foreløpig mangler kvantitative estimater for disse mineralene, har landet nylig uttalt at det har som mål å forbedre kartleggingen av mineralressurser og prosjektplanleggingen. Det er også en intensjon om å styrke industrien rundt globale klimarelaterte verdikjeder, noe som kan inkludere CDR.

Land og naturgitte forhold

Det norske fastlandet har stor tilgjengelighet for CDR og tilhørende infrastrukturutvikling. Store deler av Norge er dekket av naturlandskap, og flere områder er underlagt verne- eller restaureringspolitikk, som for eksempel prioritert bevaring av jordbruksarealer. Disse faktorene påvirker tilgjengeligheten av landarealer for CDR og infrastrukturutvikling. Ved å analysere tilgjengelige landområder i Norge, inkludert vannforekomster, våtmarker, bebygde områder, foreslåtte verneområder, skog og dyrkbar mark, forventes det å være opp mot 121,000 km² land tilgjengelig for infrastrukturbygging. Samlet sett er det ikke nødvendigvis slik at tilgjengeligheten av arealer utgjør et vesentlig hinder for CDR-utviklingen. Imidlertid krever ulike CDR-metoder ulike landmønstre og klimatiske forhold som er tilpasset deres spesifikke behov. Denne rapporten vil undersøke tilgjengeligheten av landområder for hver enkelt CDR-metode, med sikte på å vurdere om landbegrensninger vil kunne begrense bruken av spesifikke CDR-teknologier.

Den langstrakte norske kystlinjen gir gode muligheter for ulike CDR-metoder, som for eksempel taredyrking.

Storskala taredyrking kan både fungere som et naturlig karbonsluk og bidra til å redusere havforsuringen. Norge står allerede for 15% av verdens produksjon av vill tare, og produksjonspotensialet utenfor kysten er anslått til 20,000 tonn per kvadratkilometer per år. Dette tilsvarer et fangstpotensial på opptil 3,000 tonn CO₂ per kvadratkilometer. Det er imidlertid fortsatt begrenset kunnskap om miljøeffektene av tareoppdrett i stor skala. Norges havområder er også ideelle for teknologier for direkte CO₂-fangst fra havet (DOCCS), som fungerer optimalt i sjøvann og ved lavere vanntemperaturer.

Temperatur- og luftfuktighetsendringer i Norge er forventede konsekvenser av klimaendringene, men det er lite sannsynlig at dette vil ha vesentlig innvirkning på potensialet for nye CDR-metoder. Noen nye CDR-metoder, som direkte fangst og lagring av CO₂ (DACCS), kan være sensitive for lave temperaturer og lav luftfuktighet. Selv om store deler av Norge opplever temperaturer under frysepunktet om vinteren, forventes ikke dette å forverres av klimaendringene. Årstemperaturene antas generelt å øke, mer om vinteren enn om sommeren. Luftfuktigheten i Norge er for tiden høy, og en forventet nedgang vil sannsynligvis ikke påvirke DACCS-potensialet. Endrede klimatiske forhold kan imidlertid påvirke energibehovet og kapasiteten for naturbaserte CDR-metoder.

CO₂ lagring

Lagring av karbondioksid har allerede vært praktisert i stor skala utenfor Norges kyst, og det er betydelig potensial for å øke kapasiteten ytterligere. Olje- og gassfeltene Sleipner og Snøhvit har lagret CO₂ siden henholdsvis 1996 og 2008. Det anslås at det er en gjenværende offshore-kapasitet på mellom 29–86 GtCO₂, og de planlagte prosjektene i Norge har en samlet lagringskapasitet på 58 Mtpa innen 2030. I tillegg kan bruk av trevirke i varige produkter tilby en annen form for karbonlagring. Etterspørselen etter trevirke i byggebransjen forventes å øke, noe som gir en naturbasert lagringsløsning.

Norges strategi for karbonhåndtering fokuserer på karbonfangst og -lagring (CCS) som et avgjørende virkemiddel for å redusere utslippene og nå målet om å bli et lavutslippssamfunn. Miljødirektoratet har listet CCS som en av de strategiene (sammen med elektrifisering) som har størst potensial for å nå utslippsmålene. De klimarelaterte utgiftene i landet har økt raskt det siste tiåret, men utslippene faller ikke i det tempoet som er nødvendig for å nå utslippsmålene. Det er derfor viktig å prioritere offentlige utgifter til tiltak som CCS, som gir en kortsiktig, men betydelig effekt.

Politikk og samfunnsgeografi

Klimapolitikk, insentiver og støttemekanismer kan både legge til rette for utslippsreduksjoner og oppmuntre til investeringer i forskning, utvikling og bruk av strategier og teknologier som CDR. Norge benytter i stor grad CO₂-avgifter og utslippskvotemarkedet som virkemidler i klimapolitikken, samtidig som det tilbyr økonomisk støtte og veiledning til klimaprojekter gjennom den statseide Enova-støtteordningen. Selv om det ikke finnes spesifikk regulering etablert kun for CCS, er det flere regulatoriske og økonomiske virkemidler som allerede er iverksatt eller under vurdering. Disse virkemidlene har som mål å fremme teknologiutvikling og teknologiutbredelse. Det er også et storskala demonstrasjonsprosjekt for CCS som er under utvikling i landet. Naturbasert karbonfangst og -lagring støttes gjennom nasjonal landbruks- og skogpolitikk, som fremmer økt karbonbinding. Internasjonale politiske tiltak, som offentlige utslippsreduksjonsmål, lovpålagte krav, subsidier og karbonprising, kan også bidra til utvikling av CDR på nasjonalt nivå. For eksempel vurderer EUs kvotehandelssystem for tiden reformer som kan ytterligere stimulere CCUS og CDR. EUs rammeverk for sertifisering av karbonfjerning vil bidra til å standardisere ulike CDR-sertifiseringsordninger.

Norges samfunnsgeografi indikerer generelt en nasjonal forpliktelse til ambisiøse klimatiltak, men en potensiell mangel på kvalifisert arbeidskraft. Landet har sluttet seg til Parisavtalen og fortsetter å utvikle klimapolitikk, reguleringer og investeringer. Norge fortsetter imidlertid å produsere og eksportere betydelige mengder olje og gass, samtidig som investeringene i denne industrien øker parallelt med grønne investeringer. For å oppfylle klimaambisjonene må utslippene fra olje- og gassindustrien reduseres kraftig og raskt. Norge kan imidlertid gå enda lenger ved å fremme utviklingen av CDR og potensielt oppnå netto negative utslipp, for å ta ansvar for tidligere utslipp og støtte en rettferdig fordeling av avkarboniseringsinnsatsen globalt. Det vil imidlertid være behov for mer teknisk og ingeniør kompetanse i Norge for å ta i bruk CDR, men den høye deltakelsen i arbeidsmarkedet og den dyktige arbeidsstyrken gir et godt utgangspunkt for utvikling på dette området.

Det nasjonale fokuset på klimatiltak gjenspeiles i det samfunnsmessige landskapet, men klimatiltak og -løsninger forblir sosialt komplekse. Nesten 70% av den norske befolkningen erkjenner et ansvar for å redusere utslippene. Samtidig har olje- og gassutvinning vært, og er fortsatt, en betydelig del av norsk økonomi, og er et tema for mange politiske diskusjoner knyttet til klimaendringer og nasjonal profitt. På lang sikt kan en overgang bort fra olje- og gassindustrien gi Norge muligheten til å utvikle en større CDR-industri. Det sosiale landskapet rundt denne omstillingen vil imidlertid være mangefasettert. Det vil kreve en avveining mellom nasjonale behov for olje- og gassproduksjon, motstridende holdninger til CDR og strategier for utslippsreduksjon, hensynet til landskap og biologisk mangfold, samt kulturarvsinteresser, særlig hos den samiske urbefolkningen.

Distribusjonsforløp

Basert på det estimerte teoretiske potensialet for karbonfjerning **rangeres bio-CCS og DACCS høyere enn andre CDR-metoder, siden de er teknologisk mer avanserte, og utslippsreduksjonene som disse metodene kan medføre, er mer sporbare sammenlignet med naturbaserte løsninger.** Tareoppdrett er en annen CDR-metode som er svært relevant for Norge på grunn av landets tidligere erfaring med tareproduksjon og tilgangen på havområder for tareoppdrett. Gjenplantning av skog har også et godt potensial i Norge, forutsatt at skogens tilstand overvåkes godt. **Denne rangeringen er relativt i tråd med funnene fra workshopen, der interessentene prioriterte bio-CCS, DACCS, skogplanting, forbedret skogforvaltning, biokull og blått karbon (tareoppdrett) som de mest politisk relevante CDR-metodene for Norge.** Interessentene tok også opp spørsmålet om varighet av CO₂-fjerning når det gjelder skogplanting og forbedret skogforvaltning.

Estimater av det teoretiske potensialet for karbonfjerning i Norge viser et godt potensial for både naturbaserte og teknologibaserte CDR-metoder. Tabellen nedenfor oppsummerer det teoretiske potensialet som er estimert for CDR-metoder som er relevante for Norge. Rapporten beskriver videre hvilke forutsetninger og scenarier som er brukt for å estimere dette potensialet. Til slutt i rapporten presenteres det behovet for videre arbeid eller ytterligere vurderinger for å estimere et mer realistisk potensial.

CDR-metode	Teoretisk potensial estimert for 2030 (MtCO ₂ år)	Teoretisk potensial estimert for 2050 (MtCO ₂ år)
DACCS (Solid state DAC (S-DAC))	2 – 14	9 – 88
DACCS (Liquid state DAC (L-DAC))	2 – 11	8 – 71
Bio-CCS (BECCS)	1.8 – 2.4	9 – 10
Biokull (Pyrolysis)	0.8 – 1.1	3.2 – 4.6
Coastal enhanced weathering (CEW)	1 – 7 (Estimat for en batchprosess – uklart om potensialet kan oppnås per år eller sjeldnere/hyppigere. Forutsatt at 2-10 % av strandlinjen er tilgjengelig)	
Terrestrial enhanced weathering (TEW)	3.5 – 4.4 (Estimat for en batchprosess – uklart om potensialet kan oppnås per år eller sjeldnere/hyppigere. Forutsatt at all dyrkbar mark er brukt og spredningstetthet er rundt 2 kt basalt per km ²)	
Oppdrett av tare	-	6 – 9 (Kan oppnås innen 2050, forutsatt en tareproduksjon på 20 kt/km ² /år)
Havkalking	4 – 5 (Estimat for en batchprosess – uklart om potensialet kan oppnås per år eller sjeldnere/hyppigere)	
Totalt potensial	Kan ikke summeres opp, da noen CDR-løsninger vil føre til konkurranse mellom ressurser	Kan ikke summeres opp, da noen CDR-løsninger vil føre til konkurranse mellom ressurser

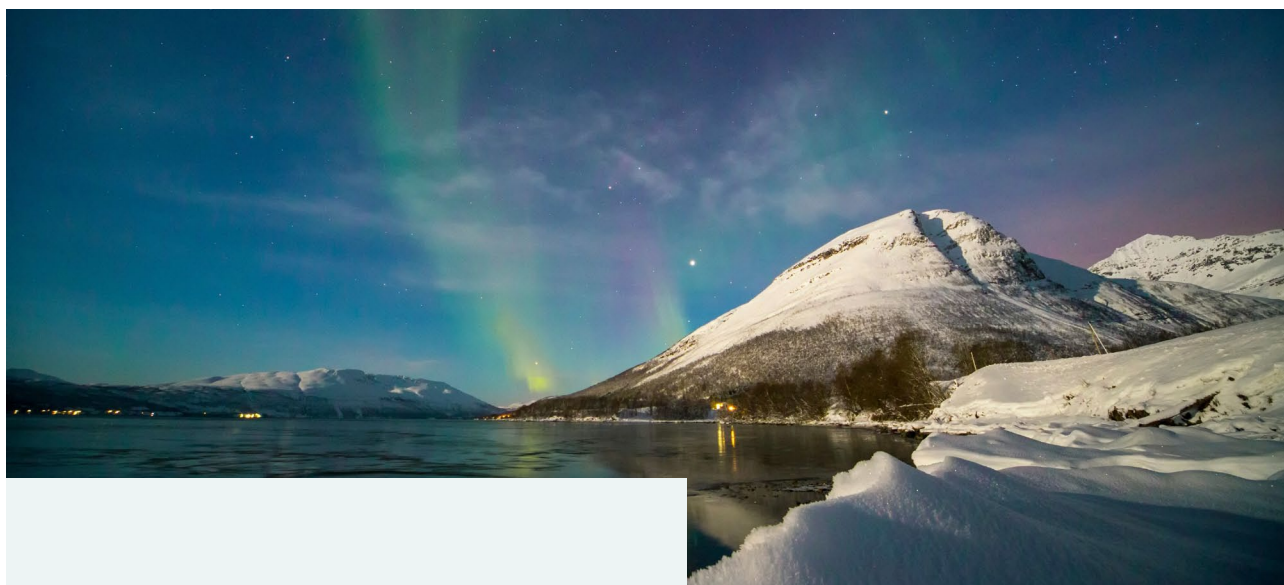
Tabell 0. Oppsummering av teoretisk potensial estimert for CDR-metoder vurdert i Norge. Flere detaljer om forutsetninger og scenarier er presentert i hovedrapporten.

Basert på de utslippsreduksjonsmålene Norge har satt, vil landet innen 2050 ha kun 2,5 – 5 millioner tonn CO₂ ekvivalenter igjen å redusere for å nå netto nullutslipp. Dette er relativt lite med tanke på det betydelige potensialet for CO₂-fjerning i Norge, som kan realiseres gjennom en kombinasjon av det tilgjengelige bio-CCS-potensialet og Norges skogplantingsplan alene.

Det betydelige gjenværende CDR-potensialet i Norge kan muliggjøre at landet går videre enn netto nullutslipp og fjerner mer CO₂ fra atmosfæren. Dette forutsetter imidlertid at infrastrukturen utvikles i riktig tempo for å implementere CDR effektivt.

For å sette utslippene i perspektiv, kan Norges olje- og gasseskport føre til 400-500 millioner tonn CO₂ i forbrenningsutslipp¹ i importlandene. Dette utgjør en betydelig mengde sammenlignet med Norges årlige utslipp. Selv om disse utslippene ikke blir inkludert i Norges egne regnskaper, har Norge en unik mulighet til å gå lenger enn netto null og bidra til å nå målene i Parisavtalen globalt. Selv om CDR ikke kan kompensere for pågående fossile utslipp, kan Norge ved å lede an i utviklingen av CDR og potensielt gå netto-negativt vise globalt lederskap i arbeidet med å redusere klimaendringene. **Med sin store lagringskapasitet for CO₂ kan Norge også bli en nettoimportør av CO₂, og dermed bidra til å lagre CO₂ som er fjernet i andre land.** Dette understreker viktigheten av å tilpasse politikken og forbedre infrastrukturen for å maksimere Norges betydelige potensial for CDR og effektivt bidra til det globale arbeidet med å bekjempe klimaendringene.

¹ Kun CO₂-utslipp knyttet til forbrenning av olje og naturgass. Utslipp i verdikjeden (transport, prosessering/raffinering, distribusjon) er ikke tatt med i denne beregningen.



© Lightscape - Unsplash

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3
Forkortelser	9
Figurer	11
Tabeller	13
1. Innledning	14
2. Landets ressurser og infrastruktur	16
2.1. Norges energilandskap	16
2.2. Norges vannressurser	22
2.3. Arealressurser i Norge	24
2.4. Naturlige forhold i Norge	26
2.5. Tilgjengelighet av biomasse i Norge	29
2.6. Tilgang på mineralressurser i Norge	32
2.7. CO ₂ transport- og lagringspotensial i Norge	33
2.8. CO ₂ lagring i trevirke	39
2.9. Verneområder i Norge	40
3. Eksisterende rammeverk og virkemidler	43
3.1. CDR innenfor Norges klimastrategi	43
3.2. Sektorovergripende virkemidler, insentiver og støttemekanismer	45
3.3. Regulatoriske rammeverk og støttemekanismer som er relevante for CCS-relaterte CDR-metoder	45
3.4. Regulatoriske rammeverk og støttemekanismer som er relevante for andre CDR-metoder	47
3.5. Internasjonale rammeverk og støttemekanismer som er relevante for Norge	48

4. Norges samfunnsgeografi	52
4.1. Økonomi og klima	52
4.2. Menneskelige ressurser	55
4.3. Politisk/offentlig landskap	57
4.4. Kulturelle, estetiske, religiøse og etiske hensyn	58
5. Teoretisk potensial for CDR-distribusjon i Norge	60
5.1. Teoretisk potensial for DACCS	62
5.2. Teoretisk potensial for Bio-CCS og biokull (pyrolyse)	64
5.3. Teoretisk potensial for CDR-metoder knyttet til CO ₂ mineralisering	66
5.4. Teoretisk potensial for skogbruksrelaterte CDR-metoder	67
5.5. Teoretisk potensial for havbaserte CDR-metoder	69
5.6. Optimalisering av utvalgte CDR-metoder i en casestudie	74
6. Evaluering av CDR i forhold til Norges klimamål	76
Vedlegg 1: Mer informasjon om produksjon og forbruk av termisk energi i Norge	79
Vedlegg 2: Multiconsults analyse av havvindpotensialet i Norge	80
Vedlegg 3: Tilleggsinformasjon om vannressurser i Norge	81
Vedlegg 4: Tilleggsinformasjon om tilgjengeligheten av råstoff fra biomasseavfall	82
Vedlegg 5: Engasjement fra innbyggerpanelet i Norge	84



Forkortelser

AC	Alternating current
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve
AR6	Sixth Assessment Report of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change
BAU	Business as usual
bcm	Billion cubic meters
BECCS	Bioenergy with carbon capture and storage
Bio-CCS	Bio-energy carbon capture and sequestration
CaCO₃	Calcium carbonate
CaO	Calcium oxide
CAPEX	Capital expenses
CCS	Carbon capture and sequestration
CCUS	Carbon capture, utilization and sequestration
CDD	Cooling Degree Days
CDM	Clean Development Mechanism
CDR	Carbon dioxide removal
CEW	Coastal enhanced weathering
CL	Carbon Limits
CO₂	Carbon dioxide
CO₂e	Carbon dioxide equivalents
CRCF	Carbon Removal Certification Framework
DAC	Direct air capture
DACCS	Direct air carbon capture and sequestration
DC	Direct current
ECHR	European Court of Human Rights

EEA	European Economic Area
ELA	European Labour Authority
ENGO	Environmental non-governmental organisations
ESR	Effort Sharing Regulation
ETO	Energy Transition Outlook
ETS	Emission Trading System
EU	European Union
EUR	Euro (€)
EV	Electric vehicle
FID	Final investment decision
GDP	Gross domestic product
GHG	Greenhouse gases
GSHP	Ground source heat pumps
Gt	Giga-tonne
GW	Gigawatts
HDD	Heating Degree Days
IEA	International Energy Agency
IMF	International Monetary Fund
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRENA	International Renewable Energy Agency
km	Kilometre
km²	Square kilometres
Kt	Kilotonne
kV	Kilo-Volt
LCA	Life cycle assessment
L-DAC	Liquid solvent direct air capture

LFS	EU Labour Force Survey
LNG	Liquefied natural gas
LPG	Liquefied petroleum gas
LT-LEDS	Long Term – Low Emission Development Strategy
LULUCF	Land use, land use change, and forestry
m³	Cubic meters
mcm	Million cubic meters
mm	Milli-meter
MRV	Monitoring, reporting, and verification
Mt	Million tonnes
Mtpa	Million tonnes per annum
MW	Megawatts
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NCCS	Norwegian CCS Research Centre
NDC	Nationally determined contribution
NGU	Norge Geologiske Undersøkelse
NOK	Norwegian krone
NPD	The Norwegian Petroleum Directorate
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NSL	North Sea Link
NTC	Net Transfer Capacity
NVE	Norway's Directorate of Water Resources and Energy
O&G	Oil and gas
OAE	Ocean alkalinity enhancement
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEX	Operational expenses

pH	Potential of Hydrogen
PJ	Petajoules
PV	Photovoltaics
QGIS	Quantum Geographic Information System
R&D	Research and development
RCP	Representative Concentration Pathway
RDD&D	Research, design, development, and demonstration
RMP	Regionalt miljøtilskudd i jordbruket (Norway Regional Agro-environmental Programme)
S-DAC	Solid sorbent direct air capture
SSB	Statistisk Sentralbyrå
STEM	Science, technology, engineering, and mathematics
t	Tonnes (metric)
TCM	Technology Centre Mongstad
TEW	Terrestrial enhanced weathering
TRL	Technology readiness level
TSO	Transmission system operator
TWh	Terawatt-hour
UCO	Used cooking oil
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USD	United States Dollar (\$)
VCM	Voluntary carbon market
WtE	Waste-to-energy

Figurer

Figur 1: CDR metoder presentert i IPCC AR6 rapport.	14
Figur 2: Etterspørsel etter varme og kjøling i 2018, i TWh/år.	17
Figur 3: (Venstre) Framskrivninger av strømforbruket i 2030, 2040 og 2050. (Til høyre) Framskrivninger av elektrisitetsproduksjon i 2030, 2040 og 2050.	20
Figur 4: Forventet elektrisitetsproduksjon etter kilde i 2030, 2040 og 2050.	20
Figur 5: Fordeling av energipotensialet for sol (venstre) og landbasert vind (høyre) i Norge.	20
Figur 6: Framskrivning av installert fornybar energikapasitet i henhold til Norsk Industris vurdering.	21
Figur 7: (Venstre) Kart over årlig nedbør i Norge. (Høyre) Ferskvannskilder i Norge.	23
Figur 8: (Venstre) Prosentvis endring i 200-årsflommen for middels (RCP4.5) og høye (RCP8.5) utslipp. (Høyre) Endringer i årlig antall dager med snødekke fra 1971–2000 til 2071–2100 for a) RCP4.5, medianframskrivning og b) RCP8.5, medianframskrivning.	24
Figur 9: (Venstre) Landdekning i Norge etter areal (Høyre) Kart over landdekning i Norge (2012).	25
Figur 10: Faktorer som påvirker Miljødirektoratets naturindeks for naturtyper (2022).	25
Figur 11: Kart over potensielt tilgjengelig areal i Norge for utplassering av CDR (2023).	26
Figur 12: Tilgjengelig areal i Norge for utbygging av ny infrastruktur, med identifiserte områder med temperaturer under 0 °C i engre perioder om vinteren (2023).	27
Figur 13: Beregnet endring i årstemperatur fra perioden 1971–2000 til 2031–2060 (2045) og 2071–2100 (2085).	28
Figur 14: Forventet relativ luftfuktighet i Norge.	28
Figur 15: (a) Produsert biomasse (2021) (b) Animalske biprodukter brukt i biogassproduksjon (2020) (c) Animalske biprodukter kompostert (2020).	30
Figur 16: Solgte mineralressurser i Norge i 2021.	32
Figur 17: (Venstre) Olivinreserver i Norge. (Høyre) Kalkstein- og marmorreserver i Norge.	33
Figur 18: Oversikt over CO ₂ lagringspotensial og lagringsaktiviteter i Norge.	34
Figur 19: Kumulativ lagringskapasitet for planlagte CO ₂ lagringsprosjekter i Norge.	37
Figur 20: Kart som viser plasseringen av Snøhvitfeltet, CO ₂ -rørledningen og Melkøya-terminalen.	38
Figur 21: Gjenbruk av olje- og gassrørledninger for transport av CO ₂ i tett fase og gassfase.	39
Figur 22: Kommersiell avvirkning av rundvirke (i 1,000 m ³), etter tregruppe.	40
Figur 23: Vernede områder i Fastlands-Norge.	41
Figur 24: (Venstre) Nasjonalparker (grønn skravering), naturreservater (rød skravering) og Ramsar-områder (blå skravering) på det norske fastlandet. (Høyre) Vernede vannforekomster i Norge.	41

Figure 25: Historiske utslipp i Norge, mål for utslippsreduksjoner og utslippsprognoser basert på eksisterende klimapolitikk.	43
Figure 26: Bruttonasjonalprodukt (BNP) per innbygger blant OECD-landene. (US-dollar/innbygger, 2022 eller siste tilgjengelige)	52
Figure 27: Karbonpris i forhold til total BNP %.	53
Figure 28: Real BNP-vekst og inflasjon i Norge (venstre). Stagnasjon i økonomisk aktivitet (høyre).	54
Figure 29: Norges høye inflasjon og stramme arbeidsmarked.	54
Figure 30: De økonomiske sektorenes andel av BNP mellom 2011 og 2021.	55
Figure 31: Sysselsatte personer 15–74 år, etter kjønn og næringsinndeling i 2022.	56
Figure 32: Grønne arbeidsplasser i Norge og OECD (2011–2021).	57
Figure 33: Fra venstre til høyre: (a) Totalt tilgjengelig landareal for infrastrukturutvikling i Norge (b) Tilgjengelig landareal innenfor 50 km fra lagringsplasser eller CCS-knutepunkter (c) Tilgjengelig landareal innenfor 100 km fra lagringsplasser eller 50 km fra CCS-knutepunkter.	60
Figure 34: Potensielt område med passende temperatur og fuktighet for S-DAC og L-DAC.	63
Figure 35: Kilder til bio-CO ₂ i Norge.	64
Figure 36: Havområdene som egner seg for dyrking av tang og tare.	70
Figure 37: Dyrkingspotensial innenfor norske kystøkoregioner.	70
Figure 38: Areal for dyrking av tang og tare og året tillatelsen ble gitt, fordelt på fylker.	71
Figure 39: Områder for tareproduksjon som kreves for CO ₂ fangst.	71
Figure 40: Økning i overflatetemperaturen i Norskehavet (2019).	72
Figure 41: pH i vannsøylen i Norskehavet (2019).	73
Figure 42: Bio-CO ₂ kilder i Sverige og Finland.	77
Figure 43: Historiske utslipp, utslippsprognoser og utslippsmål i Norge fra 1990 til 2050.	78
Figure 44: 300 GW havvind mulig i de områdene som Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har foreslått.	80
Figure 45: Renseanlegg for avløpsvann i Norge.	81
Figure 46: Avledet negativt utslipspotensial som funksjon av (1) nivået på tilgangen til biogent karbon og (2) nivået på negative utslipp fra en gitt mengde tilgjengelig biogent karbon.	83

Tabeller

Tabell 1: Produksjon og bruk av energi i Norge, Energibalanse i TWh (2022).	16
Tabell 2: Produksjon og forbruk av elektrisitet i Norge i 2022 (TWh).	18
Tabell 3: Norske grensekryssende kraftkapasiteter.	19
Tabell 4: Framskrevet elektrisitetsproduksjon, –forbruk og –overskudd i Norge mellom 2030 og 2050.	19
Tabell 5: Framskrevet elektrisitetsproduksjon, –forbruk og –overskudd i Norge mellom 2030 og 2050.	21
Tabell 6: Tilgjengelig biomasseråstoff i dag og framskriving av tilgjengelig råstoff i 2030 av Carbon Limits og SINTEF.	31
Tabell 7: Oversikt over lagringskapasitet for CO ₂ på norsk sokkel.	35
Tabell 8: Oversikt over planlagte CO ₂ lagringsprosjekter i Norge.	36
Tabell 9: Egenskaper for CO ₂ transportmåter.	37
Tabell 10: Norske institusjoner og deres ansvarsområder innenfor norsk klimapolitikk.	44
Tabell 11: Forventet elektrisitetsoverskudd i Norge mellom 2030 og 2050 i lav- og høyscenarioene.	61
Tabell 12: Forventet overskudd av termisk energi i Norge mellom 2030 og 2050 i lav- og høyscenarioene.	61
Tabell 13: DACCS-potensial i ulike scenarier mellom 2030 og 2050, med elektrisitet og varme som begrensning for ulike typer DACCS-teknologier – <i>mest sannsynlig potensial i hvite celler.</i>	62
Tabell 14: Estimert bio-CO ₂ som kan fjernes i Norge mellom 2030 og 2050 ved hjelp av Bio-CCS.	65
Tabell 15: Estimert bio-CO ₂ som kan fjernes i Norge mellom 2030 og 2050 ved hjelp av pyrolyse.	65
Tabell 16: Totalt potensielt areal for skogplanting og påskoging i Miljødirektoratets rapport i 2013 og deres rapport om pilotfasen i 2019.	68
Tabell 17: Optimalisering av bio-CCS, S-DAC og L-DAC i casestudie 1.	75
Tabell 18: Optimalisering av bio-CCS, L-DAC og S-DAC i casestudie 2.	75
Tabell 19: Oppsummering av estimert teoretisk potensial i Norge for vurderte CDR-metoder.	76

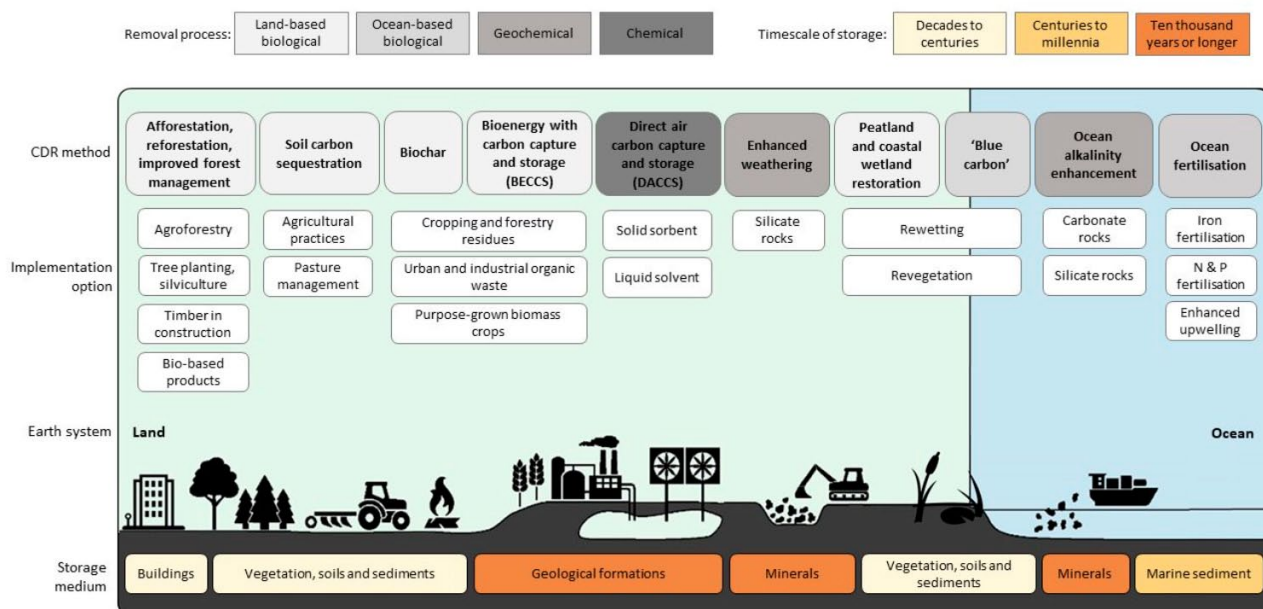


1. Innledning

Mens klimaendringene skrider frem^{2,3} og får stadig mer alvorlige og katastrofale konsekvenser, har mange regjeringer og private aktører forpliktet seg til å nå målet om netto nullutslipp innen midten av århundret, i tråd med målene i Parisavtalen.⁴ Raske og omfattende utslippskutt er nøkkelen til å oppnå mesteparten av dette målet, men aktørene må også planlegge for tilstrekkelig kapasitet til å fjerne karbondioksid fra atmosfæren for å nøytralisere sine gjenværende utslipp.

Karbonfjerning (CDR) refererer til "menneskeskapt aktiviteter som fjerner CO₂ fra atmosfæren og lagrer det varig i geologiske reservoarer, på land eller i havet, eller i produkter".⁵ Klimaeffekten av karbonfjerning kalles "negative utslipp", og regnes i dag som den tredje pilaren i klimatiltakene: redusere, tilpasse og fjerne.

I sin sjette evalueringsrapport,⁶ signaliserer IPCC behovet for å fjerne hundrevis av milliarder tonn CO₂ fra atmosfæren innen utgangen av århundret hvis vi skal kunne stabilisere klimaendringene på et nivå som er forenlig med Parisavtalen. Nyere rapporter bekrefter stadig omfanget av CDR-utfordringen.^{7,8}



Figur 1: CDR metoder presentert i IPCC AR6 rapport.⁹

² World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2023. 2024.

³ Schmidt G. Climate models can't explain 2023's huge heat anomaly — we could be in uncharted territory. Nature. 2024 Mar 21;627(8004):467–467.

⁴ UNFCCC. Paris Agreement on Climate Change UNFCCC. 2015.

⁵ Intergovernmental Panel On Climate Change (ipcc), editor. Technical Summary. In: Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change [Internet]. 1st ed. Cambridge University Press; 2023 Available from: www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157926%23pre3/type/book_part

⁶ IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022;

⁷ European Environment Agency, European Scientific Advisory Board on Climate Change. Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050. Available from: <https://data.europa.eu/doi/10.2800/609405>

⁸ Climate Overshoot Commission. Reducing the Risks of Climate Overshoot. 2023.

⁹ IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022;

Likevel er det svært få regjeringer som har en robust plan for å utvikle og ta i bruk CDR i det nødvendige omfanget. Det er en rekke årsaker til denne situasjonen, blant annet at det er uklart hvor mye CDR landene bør sikte mot (mål), hvor mye de realistisk sett kan implementere (potensial) og hvordan de kan oppnå en vellykket og rask utvikling av denne nye sektoren (virkemidler). I dag finnes det bare estimater av de nødvendige CDR-volumene på globalt nivå, og det mangler detaljerte data om de enkelte landenes kapasitet til å implementere CDR. Slike estimater er i stor grad basert på modellering,¹⁰ som bare tar hensyn til noen utvalgte av de eksisterende CDR-metodene¹¹ og dermed har begrenset kapasitet til å utforske avveininger og konkurranse om ressurser på en systematisk måte.¹² De eksisterende studiene fokuserer dessuten på de teknologiske eller økonomiske utfordringene, og overser i stor grad bevissthetenivået og oppslutningen om CDR blant nasjonale aktører og allmennheten,¹³ noe som varierer sterkt fra land til land og bør tas hensyn til når man vurderer hvor mye CDR som kan implementeres i ulike land.

For å utvikle en realistisk plan for raskere utrulling av ulike CDR teknologier, er det nødvendig med en detaljert vurdering av tilgjengeligheten av eksisterende ressurser på landnivå, samt å samarbeide med nøkkelaktører og allmennheten i hvert enkelt land.

For å bidra til at landene får raskere implementering av karbonfjerning, har Carbon Gap initiert prosjektet "Country CDR readiness assessment". Prosjektet er inspirert av Renewables Readiness Assessments, som er utgitt av International Renewable Energy Agency (IRENA), og har som mål å estimere potensialet for karbonfjerning på nasjonalt nivå, og å lage landsspesifikke veikart for karbonfjerning, med aktiv deltakelse fra nasjonale interessenter i hvert land. Disse veikartene inneholder en detaljert plan for å lykkes med implementering av CDR i stor skala, og har som formål å bistå beslutningstakere i å identifisere de beste tiltakene for å støtte CDR. Denne rapporten presenterer en «bottom-up» vurdering av det teoretiske potensialet for karbonfjerning i Norge.

Rapporten vurderer tilgjengeligheten av ulike ressurser (energi, vann, land, CO₂-lagringskapasitet osv.) som kreves for å implementere ulike CDR-metoder, med fokus på begrensede volumer og viktige, prioriterte bruksområder som ikke kan forhandles bort. I tillegg til å analysere dagens situasjon for disse ressursene, vurderes også fremtidige trender for å vurdere muligheten for å generere ytterligere volumer for å redusere konkurransen mellom CDR og eksisterende bruksområder.

Videre angir rapporten en oversikt over dagens rammebetingelser og virkemidler for CDR, for å identifisere faktorer som muliggjør og begrenser utviklingen av ulike CDR-metoder, etterfulgt av en oversikt over strukturen i norsk økonomi, det politiske landskapet og holdningene til klimaendringer, samt dokumenterte kjennetegn ved det norske samfunnet.

Det teoretiske potensialet for karbonfjerning i Norge estimeres deretter ved å sammenligne de ressursene som potensielt kan bli tilgjengelig for CDR innenfor gjeldene regulatoriske rammeverk med ressurskravene for de ulike metodene.

Vurderinger og analyser presentert i denne rapporten danner kunnskapsgrunnlag for veikartet for karbonfjerning i Norge, som ble utviklet av prosjektgruppen i samråd med et utvalg av sentrale aktører i Norge. Veikartet er publisert i et eget dokument. Prosjektet samlet et nettverk av sentrale interessenter i Norge for å utvikle dette veikartet, og det er vårt håp at denne gruppen vil bidra til å fremme anbefalingene til beslutningstakerne – og sørge for at veikartet ikke bare er gjennomførbart, men også blir satt i verk.

I tillegg til bakgrunnsrapporten og veikartet gjennomførte Teknologirådet en innbyggerworkshop for å samle inn synspunkter om karbonfjerning og dens konsekvenser og muligheter for det norske samfunnet. Resultatene fra denne workshopen er oppsummert i vedlegg 5 til denne rapporten.

Dette arbeidet er utført på oppdrag fra Carbon Gap, en ideell organisasjon som arbeider for å fremme utviklingen og utbredelsen av karbonfjerning i Europa

¹⁰ Rickels W, Proelß A, Geden O, Burhenne J, Fridahl M. Integrating Carbon Dioxide Removal Into European Emissions Trading. *Front Clim*. 2021 Jun 24;3:690023.

¹¹ Rosa L, Sanchez DL, Mazzotti M. Assessment of carbon dioxide removal potential via BECCS in a carbon-neutral Europe. *Energy Environ Sci*. 2021;14(5):3086–97.

¹² Lefebvre D, Fawzy S, Aquije CA, Osman AI, Draper KT, Trabold TA. Biomass residue to carbon dioxide removal: quantifying the global impact of biochar. *Biochar*. 2023 Oct 11;5(1):65.

¹³ NEGEM project. Member State specific pathway for NETP deployment. 2023.

2. Landets ressurser og infrastruktur

En viktig del av forberedelsen til utrulling av CDR i et land er å vurdere landets fysiske ressurser og eksisterende infrastruktur. I denne studien vurderte prosjektteamet blant annet tilgangen på landarealer og ressurser, CO₂-lagringspotensialet og tilgangen til fornybar energi i Norge som kan benyttes for implementering av ulike karbonfjerningsmetoder. Mens datakilder om nåværende ressursituasjon er vanligvis offentlig tilgjengelige, er det begrenset publisert informasjon om fremtidig ressursutvikling og hvordan ressursene er planlagt utnyttet i ulike sektorer. For sektorer der offentlige data manglet, ble informasjonen i dette kapittelet supplert gjennom intervjuer med relevante bransjeaktører.

2.1. Norges energilandskap

Tilgangen på energi, spesielt ren og fornybar energi, spiller en avgjørende rolle for potensialet for CDR i en gitt region. Implementering av visse CDR-metoder, som for eksempel DACCS eller Bio-CCS, krever betydelige mengder elektrisitet og/eller varme. De følgende kapitlene gir nærmere undersøkelse av energilandskapet i Norge, inkludert dagens status, potensialet og distribusjonen av sentrale fornybare energikilder som vannkraft, vindkraft og solenergi i de kommende årene.

Total energiproduksjon og -forbruk

Norges energiproduksjons- og forbruksprofil, og særlig tilgangen på energikilder med lavt karbonavtrykk, vil ha stor betydning for muligheten til å ta i bruk energiintensive CDR-metoder. **I dag kommer over 90 % av primærenergien som produseres i Norge, fra olje og naturgass. Det aller meste av denne produksjonen (98 % av olje- og gassproduksjonen) eksporteres til andre land, som vist i Tabell 1.**

Når det gjelder energiforbruk, er industrisektoren den største forbrukeren av energi (i form av elektrisitet og varme), og står for nesten 32% av det endelige energiforbruket i Norge i 2022. Norges energisystem er dermed svært karbonintensivt.

Kategori	Verdi i 2022 (TWh)
Produksjon av primærenergi	2,510
Herav olje- og gassproduksjon	2,345
Import	135
Eksport	2,335
Av dette utgjorde olje- og gasseksporten	2,307
Total energiforsyning*	296
Energibransjens eget bruk	66
Distribusjonstap	8
Endelig forbruk	241
Ikke-energiforbruk	23
Endelig energiforbruk (Industri)	76
Endelig energiforbruk (transport)	56
Sluttenergiforbruk (husholdninger)	45
Endelig energiforbruk (Annet)	42

* Uten internasjonal bunkers og hensyntatt lagerendringer for tilgang. Statistisk differanse mellom tilgang og forbruk på 20 TWh

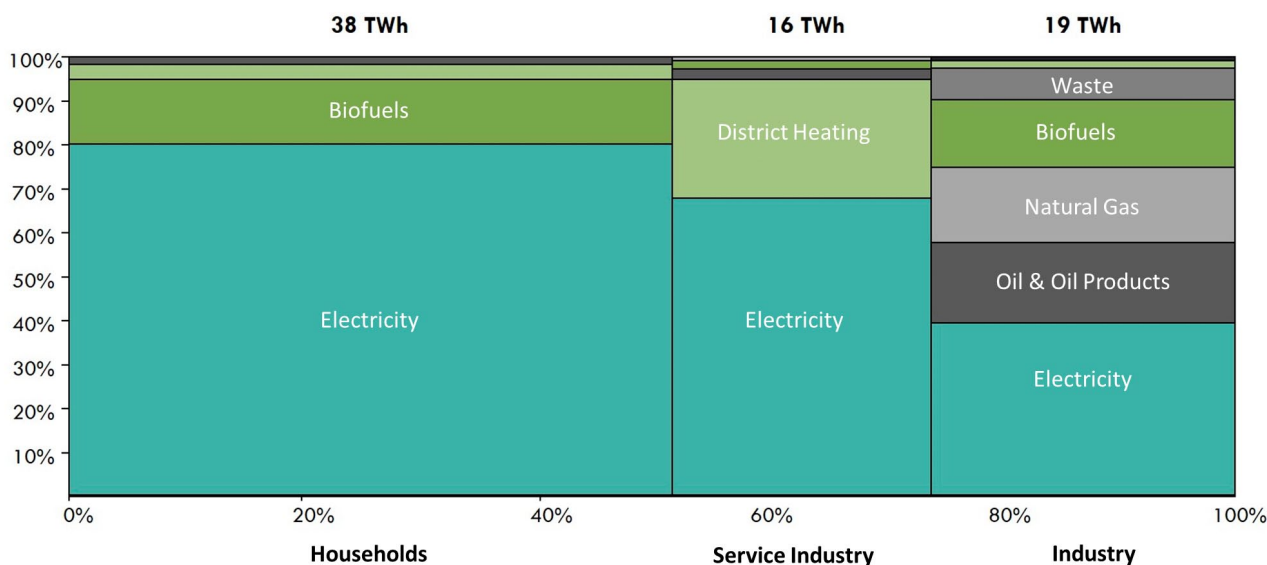
Tabell 1: Produksjon og bruk av energi i Norge, Energibalanse i TWh (2022)¹⁴

¹⁴ Statistisk Sentralbyrå. (2023). Production and consumption of energy, energy balance and energy account.
<https://www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/produksjon-og-forbruk-av-energi-energibalanse-og-energiregnskap>

Produksjon og forbruk av termisk energi

Termisk energi er ikke nødvendig for alle CDR-metoder, men noen teknologibaserte metoder, som DACCS og BECCS, involverer kjemiske prosesser som krever termisk energi. Tilgang på termisk energi fra fornybare kilder er derfor et viktig aspekt å ta hensyn til når CDR skal tas i bruk. **Produksjonen av termisk kraft i Norge er relativt begrenset, og produksjonen tilsvarer forbruket.**

Figur 2 viser energiforbruket til oppvarming og kjøling i Norge i 2018. I Norge kommer varme fra ulike kilder, der husholdningene primært bruker elektrisitet, mens industrien fortsatt i stor grad er avhengig av fossile brensler (50%). Studier utført av SINTEF og Norsk Industri har vist at rundt 20 TWh lavtemperaturvarme går til spille årlig i industrien.¹⁵ Denne spillvarmen kan utnyttes enten av den industrielle virksomheten som genererer varmen, eller av nærliggende industrier som landbaserte kleskier og oppdrettsanlegg, hagebruk, samt til oppvarming av boliger, næringsbygg, idrettsanlegg osv.¹⁶



* Kilde som presentert i referansen: Energibalanse 2018 (SSB 2019), Asplan Viak, Oslo Economics. Tilført energi i TWh. Kategoriseringen følger SSBs statistikk intern lenke. Avfall: betegner avfall som brukes i industrien til oppvarming. Spillvarme er inkl. varme fra avfallsforbrenning.

Figur 2: Etterspørsel etter varme og kjøling i 2018, i TWh/år¹⁷

Prognose for Norges termiske energilandskap

Norges totale etterspørsel etter termisk energi forventes å være relativt flat, samtidig som det vil skje en viss omfordeling av brenselkildene som brukes. Det forventes at etterspørselen etter elektrifisert varme vil øke, noe som vil føre til en reduksjon i etterspørselen etter olje, naturgass og biomasse til termisk energiproduksjon. Kapasiteten for termisk energi vil bli utvidet basert på den forventede etterspørselen i landet.

Når det gjelder den samlede kapasiteten for termisk energiproduksjon ved hjelp av fornybare energikilder, anses potensialet for solvarme og geotermisk energi som lavt.¹⁸ Geotermisk kapasitet, primært levert gjennom bergvarmepumper (GSHP), er først og fremst hemmet av kostnadene.

For biomasse til termisk energiproduksjon har Norge et betydelig potensial for vekst, med estimater som indikerer at bioenergi kan øke med 20 TWh per år basert på tilgjengeligheten av råstoff (se kapittel 2.5 for mer informasjon). Konkurransen om tilgjengelige ressurser fra smelteverksindustrien kan imidlertid begrense denne veksten.¹⁹

¹⁵ Europower Energy. (2021). 20 TWh overskuddsvarme fra norsk industri. www.fjernvarme.no/20-twh-overskuddsvarmefra-norsk-industri

¹⁶ Norsk Industri. (2016). Veikart for prosessindustrien – økt verdiskaping med nullutslipp i 2050.

www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/veikart-for-prosessindustrien_web.pdf

¹⁷ Statistisk Sentralbyrå. (2023). Production and consumption of energy, energy balance and energy account.

www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/produksjon-og-forbruk-av-energi-energibalanse-og-energiregnskap

¹⁸ IRENA. (2023). Energy Profile: Norway. www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/statistical_profiles/europe/norway_europe_re_sp.pdf

¹⁹ Carbon Limits analysis using information from SINTEF paper: Everson, N. et al. (2023). What is the potential of BioCCS to deliver negative emissions in Norway? From biomass mapping to a window of negative emissions potential. <https://psecommunity.org/LAPSE:2023.36828>

Produksjon og forbruk av elektrisitet

Hvilke strømkilder som er tilgjengelige i Norge, vil påvirke muligheten for å ta i bruk CDR, der enkelte metoder er avhengige av tilgang på lavkarbonstrøm for å sikre at CO₂ fjerning kan oppnås over hele livssyklusen.

Norges elektrisitetsproduksjon er i all hovedsak fornybar. Andelen fornybar elektrisitet kan svinge med energipriser og værforhold, men den ligger på rundt 98% i et typisk år.²⁰ Mens kraftsektoren i Europa vil fortsette å gjennomgå en betydelig transformasjon, der fossil kraftproduksjon erstattes med uregulerbar fornybar kraft, vil transformasjonen av kraftsektoren i Norge ikke være like dramatisk.²¹

I 2022 produserte Norge ca. 146 TWh elektrisitet, hvorav 88% ble produsert av vannkraftverk. Det norske vannkraftsystemet har en svært høy lagringskapasitet, og den totale magasinkapasiteten kan levere mer enn 70% av Norges årlige elektrisitetsbehov.²²

Industriektoren den største forbrukeren av elektrisitet, og stod for omtrent 46% av nettoforbruket av elektrisitet i Norge i 2022. Tabell 2 oppsummerer kraftbalansen i Norge i 2022.

Kategori	2022 (TWh)	Andel (%)
Total elektrisitetsproduksjon	145.9	100%
Vannkraft	128.7	88%
Termisk kraftproduksjon	2.4	2%
Vindkraft	14.8	10%
Import	13.3	
Eksport	25.8	
Bruttoforbruk	133.4	
Pumpelagring og tap	8.3	
Netto forbruk	125.2	100%
Sluttforbruk (Industri)	57.9	46%
Sluttforbruk (tjenester)	27.1	22%
Sluttforbruk (husholdninger og landbruk)	40.0	32%

Tabell 2: Produksjon og forbruk av elektrisitet i Norge i 2022 (TWh)²³

Norge har vært nettoeksportør av elektrisitet i 17 av de siste 25 årene. Norges kraftutvekslingskapasitet med utlandet er i dag på ca. 8,900 MW. De siste 10 årene har kraftbalansen bedret seg, og Norge har i gjennomsnitt hatt en nettoeksport på ca. 10 TWh/år²⁴ Tabell 3 gir en oversikt over eksisterende norsk grensehandelskapasitet for kraft. Norges posisjon som nettoeksportør av elektrisitet kan ha konsekvenser for CDR-implementering. Selv om Norge kan være bundet av strømløsekontrakter, er det potensial for å bruke strømoverskuddet til implementering av ulike CDR-metoder. Mer informasjon om prognosen for elektrisitetsproduksjon i Norge presenteres i neste underkapittel.

²⁰ IRENA. (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023

²¹ IRENA. (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023

²² Energifakta Norge. (2023). Electricity Production. <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftproduksjon/>

²³ Statistisk Sentralbyrå. (2023). Electricity. www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet

²⁴ Energifakta Norge. (2023). The Power Market. <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/>

Grense	Navn	Maks NTC Eksportkapasitet:	AC / DC	Operativ?
Norge – Sverige	Flere linjer på de ulike grensene	3,695 MW	AC	I drift
Norge – Danmark	Skagerrak 1 – 4	1,700 MW (men 100 MW er reservert for aFRR ²⁶ mesteparten av tiden)	DC	I drift
Norge – Nederland	NorNed	700 MW	DC	I drift
Norge – Tyskland	NordLink	1,400 MW	DC	I drift
Norge – Storbritannia	NSL (North Sea Link)	1,400 MW	DC	I drift

Tabell 3: Norske grensekryssende kraftkapasiteter²⁵

Prognoser for det norske strømlandskapet

Når det gjelder prognoser for energilandskapet i Norge, er det et bredt spekter av mulige utfall som vil avhenge av teknisk potensial og politisk vilje. Flere konsulentselskaper har laget prognoser for den potensielle kraftproduksjonen i Norge – disse er oppsummert i en 2021-rapport fra NVE.²⁷ Prognosene i rapporten er basert på konsesjoner for utbygging av kraftprosjekter som er utstedt i Norge per 2021. Ifølge rapporten er det ikke sikkert at alle konsesjonene vil bli konvertert til faktiske prosjekter – derfor ble flere scenarier vurdert.

Ifølge NVE-rapporten forventes strømforbruket å øke raskere enn strømproduksjonen i Norge frem til 2030. Denne konklusjonen deles av rapporter fra konsulentselskapet Thema (2022) og nettselskapet Statnett (2021). Mellom 2030 og 2040 forventes imidlertid kraftproduksjonen å vokse raskere, noe som vil styrke kraftbalansen i Norge. Alt i alt forventes kraftbalansen i Norge å være stram de neste tre tiårene. Figur 3 viser spennet i eksisterende framskrivninger for strømforbruket i 2030, 2040 og 2050, og Tabell 4 oppsummerer prognosene for produksjon, forbruk og overskudd av elektrisitet i Norge mellom 2030 og 2050.

Prognoser	2030	2040	2050
Produksjon av elektrisitet	166 – 203	185 – 253	206 – 269
Strømforbruk	159 – 188	174 – 213	190 – 232
Overskudd	7 – 15	11 – 40	16 – 37

Tabell 4: Framskrevet elektrisitetsproduksjon, -forbruk og -overskudd i Norge mellom 2030 og 2050²⁸

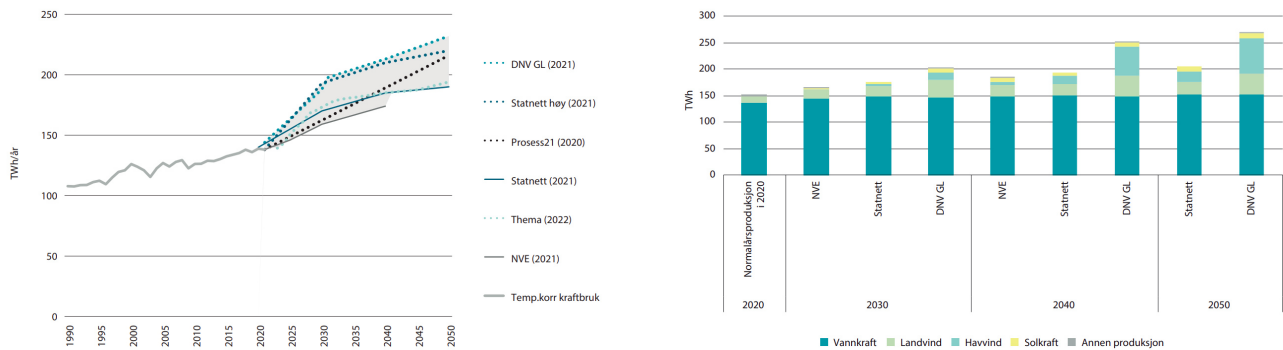
²⁵ Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). (2023). *Norway and the European power market*.

www.nve.no/norwegian-energy-regulatory-authority/wholesale-market/norway-and-the-european-power-market/

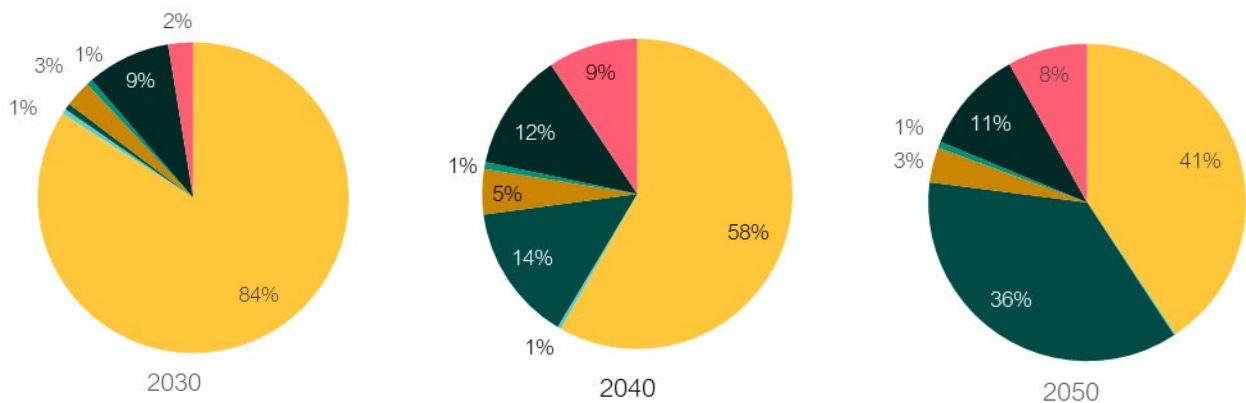
²⁶ The automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR), also known as secondary reserve, is a reserve in the power grid that helps to keep the grid frequency stable.

²⁷ Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). (2023). *Varme*. www.nve.no/energi/energisystem/termisk-energi/varme/

²⁸ NVE (2021), Statnett (2021), Thema og Multiconsult (2022), DNV GL (2021), Prosess21 (2020)

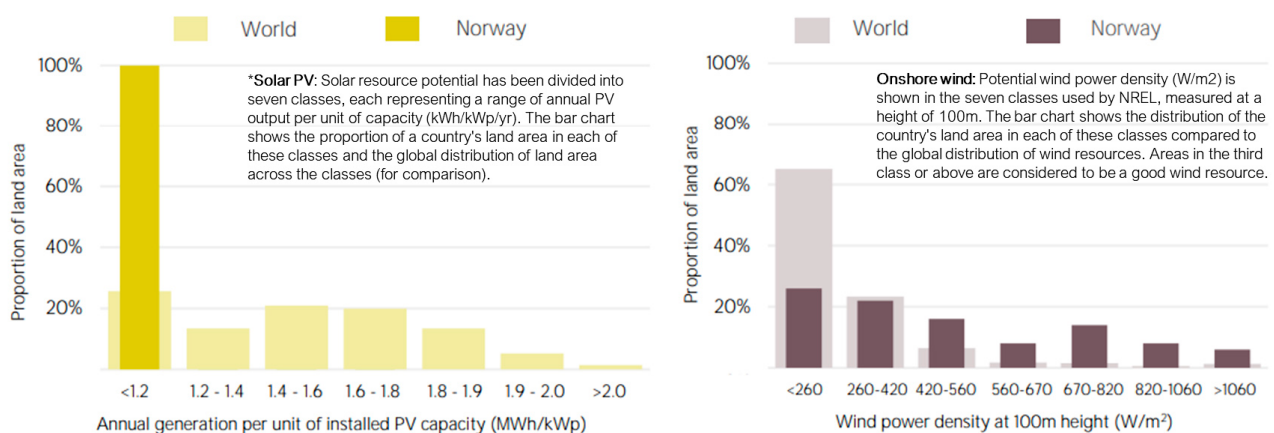


Figur 3: (Venstre) Framskrivninger av strømforbruket i 2030, 2040 og 2050. (Til høyre) Framskrivninger av elektrisitetsproduksjon i 2030, 2040 og 2050.²⁹



Figur 4: Forventet elektrisitetsproduksjon etter kilde i 2030, 2040 og 2050³⁰

Mens referansene ovenfor presenterer prognoser for elektrisitetsproduksjon og -forbruk, finnes det flere rapporter som estimerer et mye høyere potensial for fornybar energi i Norge. I henhold til IRENAs estimat av potensialet for fornybare ressurser har Norge et svært høyt potensial for vindkraft på land, og et lavt potensial for solenergi (Figur 5).



Figur 5: Fordeling av energipotensialet for sol (venstre) og landbasert vind (høyre) i Norge³¹

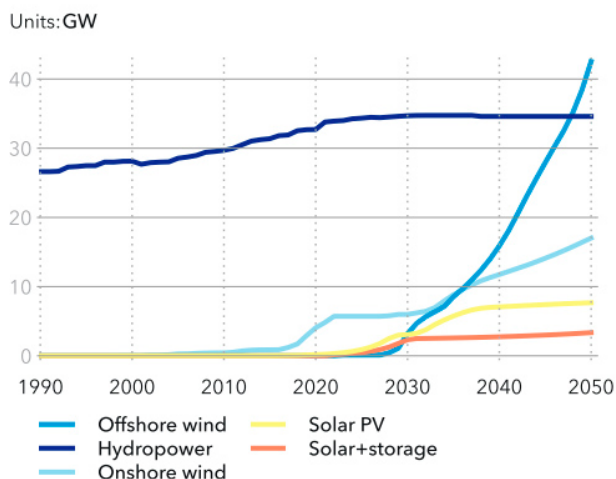
²⁹ IRNVE (2021), Statnett (2021), Thema og Multiconsult (2022), DNV GL (2021), Prosess21 (2020)

³⁰ DNV. (2022). Energy Transition: Norway 2022. www.dnv.com/Publications/energy-transition-norway-2022-235535

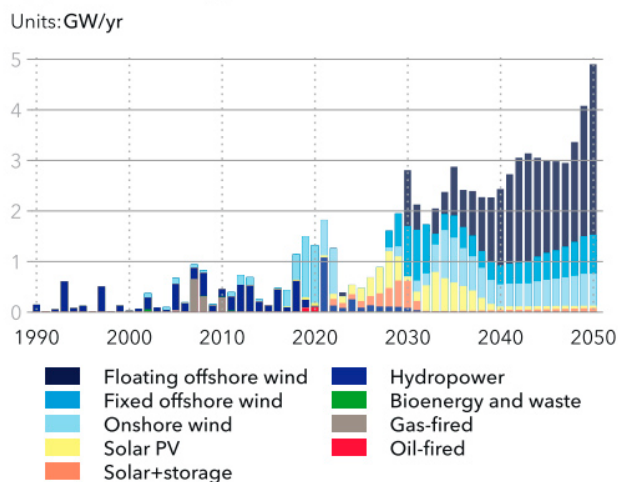
³¹ IRENA. (2023). Energy Profile: Norway. www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/statistical_profiles/europe/norway_europe_re_sp.pdf

Vindkapasiteten i Norge har potensial til å vokse, og 300 GW havvind er mulig i de områdene som Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har foreslått³² Men utbyggingen vil avhenge av den sosiale aksepten for installasjoner for fornybar energi og i hvilken takt det utvikles en støttende politikk. Det meste av kapasiteten forventes å bli bygget ut til havs, og vil utgjøre anslagsvis 80% av den vindbaserte produksjonen i 2050.³³

Norway grid and off-grid installed renewable capacity



Norway capacity additions becoming operational by power station type



Figur 6: Framskrivning av installert fornybar energikapasitet i henhold til Norsk Industris vurdering³⁴

Tabell 5 viser framskrivningen av elektrisitetsproduksjonen i Norge i henhold til Norsk Industris analyse og kombinerer den med informasjonen om elektrisitetsforbruket som er presentert i Tabell 4 ovenfor.

Prognoser	2030	2040	2050
Produksjon av elektrisitet	192	277	402
Strømforbruk	159 – 188	174 – 213	190 – 232
Overskudd	4 – 33	64 – 103	170 – 212

Tabell 5: Framskrevet elektrisitetsproduksjon, –forbruk og –overskudd i Norge mellom 2030 og 2050³⁵

Statnett (den statseide systemoperatøren) har vurdert konsekvensene av den økende elektrifiseringen for kraftnettet, og har lagt til grunn at det norske kraftsystemet, selv om det til tider er anstrengt, ikke utgjør noen risiko for strømrasjonering i løpet av de neste fem årene. Nettkapasitet er et annet sentralt tema – planlagte aktiviteter i Sverige og Norge forventes å forbedre den samlede overføringskapasiteten nord-sør med 50–60% innen 2030³⁶

³² Hjorth, R. et al. (2023). Norway's 300 GW offshore wind opportunity. <https://media-publications.bcg.com/norways-300-gw-offshore-wind-opportunity.pdf>

³³ Multiconsult (2023). www.norwegianoffshorewind.no/news/new-report-possible-to-build-338-gw-of-offshore-wind-in-norway/

³⁴ DNV. (2022). Energy Transition: Norway 2022. www.dnv.com/Publications/energy-transition-norway-2022-235535

³⁵ Carbon Limits analysis using information from Norsk Industri, Energy Transition in Norway (2022), NVE (2021), Statnett (2021), Thema og Multiconsult (2022), DNV GL (2021), Prosess21 (2020)

³⁶ Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2021). Norway's Climate Action Plan for 2021–2030.

www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/en-gb/pdfs/stm202020210013000engpdfs.pdf

Samlet sett vil begrensninger på elektrisitet og termisk energi ha størst innvirkning på implementering av enkelte CDR-metoder i Norge. Med tanke på det store vindkraftpotensialet i Norge vil det bli lagt vekt på politisk støtte til utvikling av fornybar energi i landet. Dette omfatter utvikling av elektrisitetsproduksjonssystemer og overføringsnett for å støtte den økende elektrisitetsproduksjonen og det økende forbruket i området. Støtte fra den norske offentligheten spiller en viktig rolle i utbyggingen av fornybar energi i Norge. Derfor bør offentlige høringer betraktes som et viktig skritt i setting av mål for utvikling av fornybar energi i Norge. Ytterligere analyser av Sveriges, Danmarks og Finlands elektrisitetsproduksjon og utveksling av elektrisitet over landegrensene vil også være nyttig for å forstå det samlede elektrisitetsoverskuddet i den skandinaviske regionen.

2.2. Norges vannressurser

Flere CDR-metoder krever bruk av ferskvann. I tillegg til energibehovet er det avgjørende å vurdere tilgangen på og behovet for ferskvann i landet for å bedre forstå hva som kan være tilgjengelig for implementering av CDR. Klimaendringer kan påvirke nedbørsmengdene og kvaliteten på regnvannet, noe som gjør det enda viktigere å vurdere tilgjengeligheten av ferskvann i landet.³⁷

Årsnedbør og overflate- og grunnvann er de viktigste kildene til ferskvann i Norge. I gjennomsnitt mottar landet rundt 544 milliarder kubikkmeter nedbør hvert år, noe som er en av de høyeste nedbørsmengdene i hele Europa³⁸ Høstmånedene får generelt mest nedbør, men enkelte innlandsområder får mer nedbør i sensommermånedene.³⁹ Norge har også ca. 393 milliarder kubikkmeter fornybare ferskvannsressurser fra overflatevann og grunnvann.³⁸ Det finnes 455,000 innsjøer i Norge, men de største elvene og nedbørfeltene finnes i den sørøstlige delen av landet.⁴⁰ Et kart som viser estimert årlig nedbør og ferskvannsressurser i Norge, er vist i Figur 7.

Grunnvannsmagasiner i Norge er generelt små, med noen unntak, særlig på Østlandet.^{41,42} Grunnvannsnivået varierer avhengig av landskap (lavland, fjellområder, kyst), klima og årstid. I lavlandet er nivået på sitt høyeste to ganger i året: en gang om våren (etter snøsmeltingen) og en gang om høsten (på grunn av nedbør). I kystområder, som typisk opplever nedbør gjennom hele året, når grunnvannsnivået sitt maksimum i de senere vintermånedene.

Over 84% av Norges befolkning er tilknyttet det kommunale vannforsyningssystemet: I 2022 ble det levert nesten 0.6 milliarder kubikkmeter vann til landets innbyggere gjennom 52,000 km med rørledninger.⁴³ Rundt 10% av befolkningen får vann fra private brønner og små vannverk. Til tross for det høye vannforbruket i landet (norske innbyggere brukte i gjennomsnitt nesten dobbelt så mye vann som danske innbyggere i 2018), har Norge rikelig med gjenværende vannressurser – i 2020 tappet landet bare 0.6 % av de tilgjengelige ferskvannsressursene.^{44,45}

Selv om Norges infrastruktur for vannforsyning er omfattende, er den utdatert. Omtrent 30% av det kommunale vannvolumet går tapt gjennom lekkasjer og risikerer derfor å bli forurenset fra tilstøtende avløpsledninger, og reparasjonsraten er lav – med dagens tempo vil det ta nesten 150 år å renovere systemet på en tilfredsstillende måte.⁴⁶

³⁷ US Environmental Protection Agency (EPA). (2023). *Climate Change Impacts on Freshwater Resources*. <http://tiny.cc/uin7yz>.

³⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *AQUASTAT database*.

https://tableau.apps.fao.org/views/ReviewDashboard-v1/country_dashboard

³⁹ Energifakta Norge. (2023). *The Electricity Grid*. <https://energifaktanorge.no/en/norsk-energiforsyning/kraftnett/>

⁴⁰ European Environment Agency. (2017). 3. Surface water quality monitoring – summary: Norway. www.eea.europa.eu/publications/92-9167-001-4/page015.html

⁴¹ Norges Geologiske Undersøkelse (Norway Geological Survey). (n.d.) *Groundwater resources*. <https://www.ngu.no/geologiske-ressurser/grunnvannsressurser>

⁴² Norges vassdrags- og energidirektorat (Norwegian Water Resources and Energy Directorate). (2023). *Grunnvann*.

www.nve.no/vann-og-vassdrag/vannets-kretsloep/vannet-under-bakken-markvann-og-grunnvann/grunnvann/

⁴³ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2023). *Municipal water supply*. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning

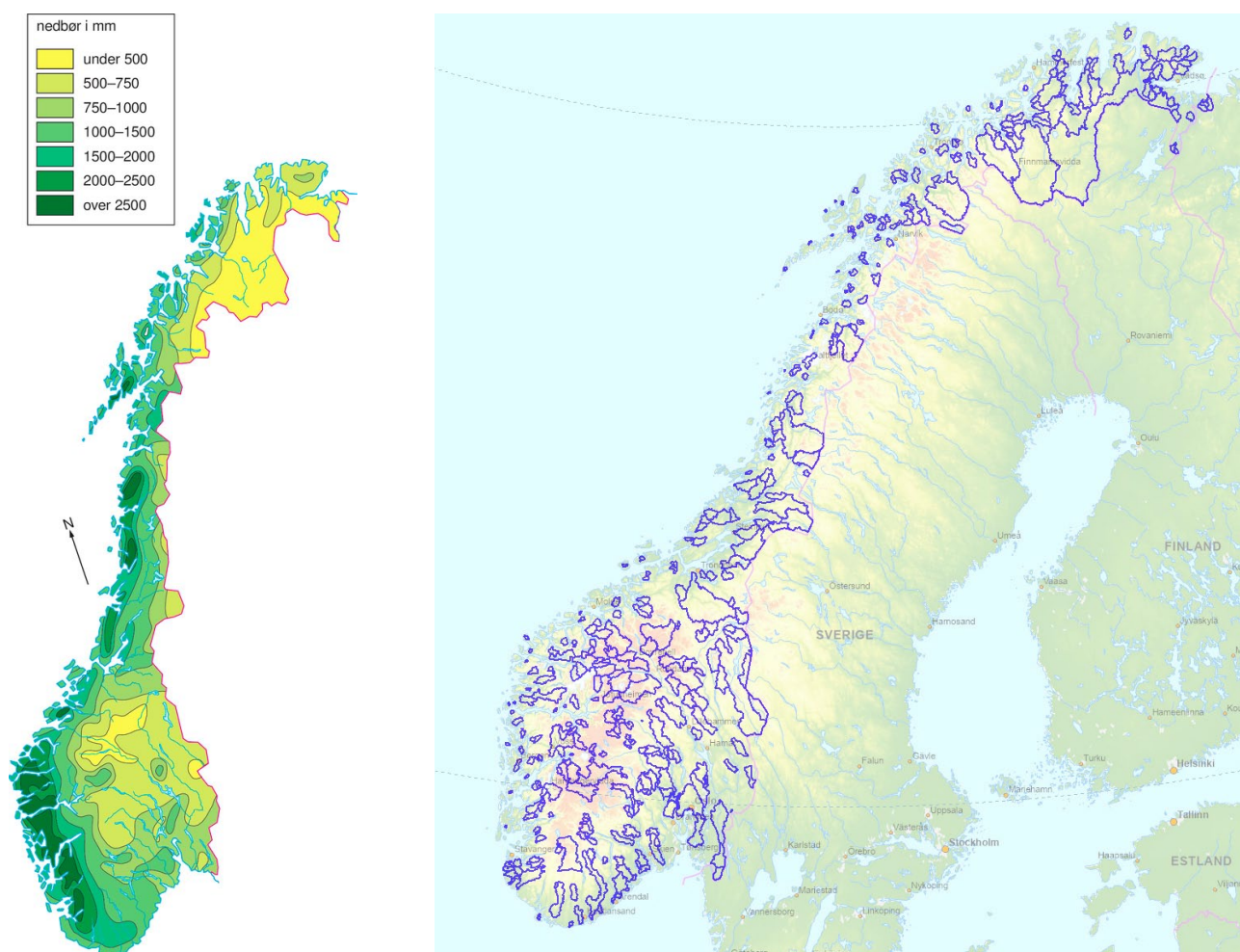
⁴⁴ Borgan, E. (2019). *Vi sløser med vannet i Norge. Det får konsekvenser for klima og miljø*.

<https://forskning.no/biologi-hus-og-hjem-kjemi/vi-sløser-med-vannet-i-norge-det-far-konsekvenser-for-klima-og-miljo/1567885>

⁴⁵ FN-Sambandet (United Nations Association of Norway). (2020). *Vannforbruk*. www.fn.no/Statistikk/vannforbruk

⁴⁶ Steinberg, M. and Hyllestad, S. for the Norwegian Institute of Public Health. (2017). *Drinking water in Norway*.

www.fhi.no/en/he/hin/infectious-diseases/drinking-water-in-Norway/?term=



Figur 7: (Venstre) Kart over årlig nedbør i Norge. (Høyre) Ferskvannskilder i Norge ⁴⁸

På lang sikt forventes både årlige nedbørsmengder og antall dager med kraftig nedbør å øke for alle årstider i hele landet.⁴⁹

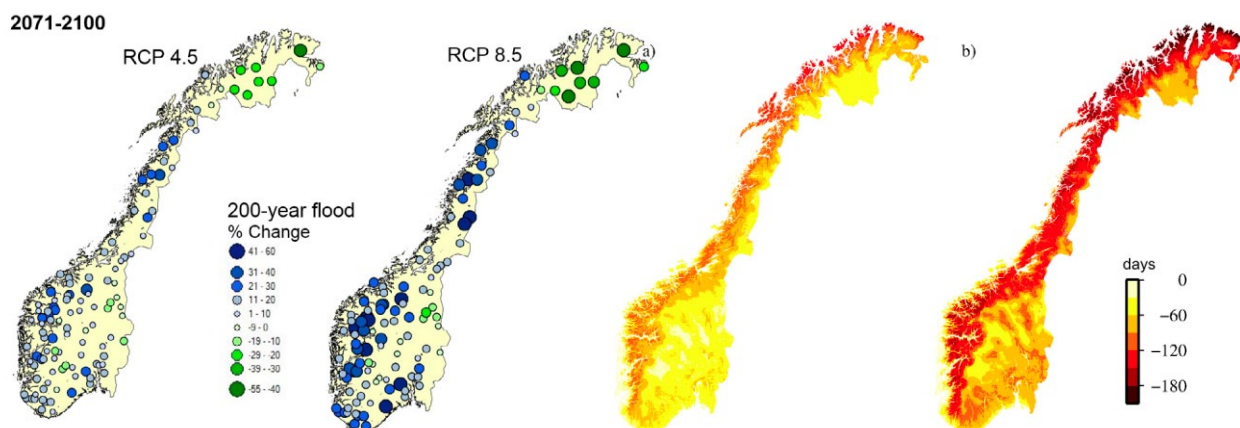
I et “business as usual”-scenario forutser medianprognosene en 18% økning i nedbørsmengden og 89% økning i antall dager med kraftig nedbør innen 2100. Effektene av økt kraftig nedbør (f.eks. skred og oversvømmelser) vil sannsynligvis føre til økt behov for rørledningsreparasjoner. Flom som følge av kraftig regn forventes å øke i hyppighet og intensitet i fremtiden. Et kart som illustrerer den prosentvise endringen i 200-årsflommens intensitet under et “business as usual”-scenario (RCP8,5)⁵⁰ over hele landet, er vist i Figur 8.

Ifølge vurderingen av klimatilpasning for Norge kan endringer i avrenningen påvirke landets vannkraftproduksjon positivt, selv om det kan være nødvendig med investeringer i magasinkapasitet og kraftinfrastruktur for å realisere de forventede fordelene fullt ut.⁵¹

⁴⁹ Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf

⁵⁰ RCP8.5 refers to a Representative Concentration Pathway (RCP) used in climate modeling. RCP8.5 represents a scenario of high greenhouse gas emissions and is often considered a “business as usual” pathway, where emissions continue to rise throughout the 21st century without significant efforts to mitigate climate change.

⁵¹ International Energy Agency. (2022). *Norway Climate Resilience Policy Indicator*. www.iea.org/articles/norway-climate-resilience-policy-indicator



Figur 8: (Venstre) Prosentvis endring i 200-årsflommen for middels (RCP4.5) og høye (RCP8.5) utslipp. (Høyre) Endringer i årlig antall dager med snødekke fra 1971–2000 til 2071–2100 for a) RCP4.5, medianframskrivning og b) RCP8.5, medianframskrivning.⁵²

Når det gjelder tilgangen til vann for CDR-utrudding, kan tilgangen til ferskvannskilder være begrenset på grunn av det utdaterte distribusjonssystemet, snarere enn av mengden ferskvann som er tilgjengelig i landet. En grundigere analyse på kommunenivå vil være nødvendig for å vurdere den forventede tilgjengeligheten på utvalgte steder.

2.3. Arealressurser i Norge

Areal er en sentral faktor ved implementering av ulike CDR-metoder. For det første krever de fleste CDR-metodene et betydelig landområde for utbygging av infrastruktur. Avhengig av valgt teknologi må dette området ligge langt unna beskyttede naturområder og boligområder. Andre kriterier som jordens fruktbarhet og naturlige værforhold legger ytterligere begrensninger på valget av passende landområder for CDR-utbygging. Dette kapittelet gir en oversikt over de viktigste landområdetypene og verneområdene i Norge, og presenterer generelle konklusjoner om den geografiske egnetheten til norske områder for implementering av CDR.

Norge strekker seg over 385 207 km² og har et variert landskap med store deler av landet dekket av fjell og skog, med arktisk tundra i nord. Elvedaler og kystnære fjorder deler det fjellrike landskapet, og utenfor landets lange kystlinje ligger opp mot 200,000 for det meste ubebodde øyer.

Omtrent 37% av Norges landareal er skogkledd, noe som utgjør den største andelen av landarealet. 70% av dette arealet regnes som produktivt, noe som betyr at det kan dyrkes minst 1 kubikkmeter trevirke per hektar per år. Den samlede økologiske tilstanden i de norske skogene regnes imidlertid som "relativt dårlig" med en indikatorverdi på 0.41, der 0.6 regnes som "god" og 1.0 regnes som "uberørt".⁵³ Denne tilstanden forventes å forverres i fremtiden, hovedsakelig på grunn av utbygging og menneskelig aktivitet. Omtrent 76% av den produktive skogen eies av privatpersoner og 7.5 % av sameier og selskaper – til sammen utgjør dette den største andelen av privateid skog i Europa.⁵⁴

Andre naturområder (innlandsvann, myr, snaufjell/grus, permanent snø og isbreer) utgjør ytterligere 23.2% av landarealet, mens ca. 3.5% av landarealet brukes til jordbruk. Bevaring av jordbruksarealer i Norge er i dag en prioritert oppgave, selv om en del fortsatt er truet av utbygging og urbanisering.⁵⁵ Bare 2.2% av Norges landareal regnes som dyrkbart av FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO).⁵⁶

⁵² Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf

⁵³ Miljødirektoratet, the Norwegian Environment Agency

⁵⁴ Gundersen, Vegard, et al. (2022). *Forest owners' perspectives on forest protection in Norway*. DOI: 10.1080/02827581.2022.2075448

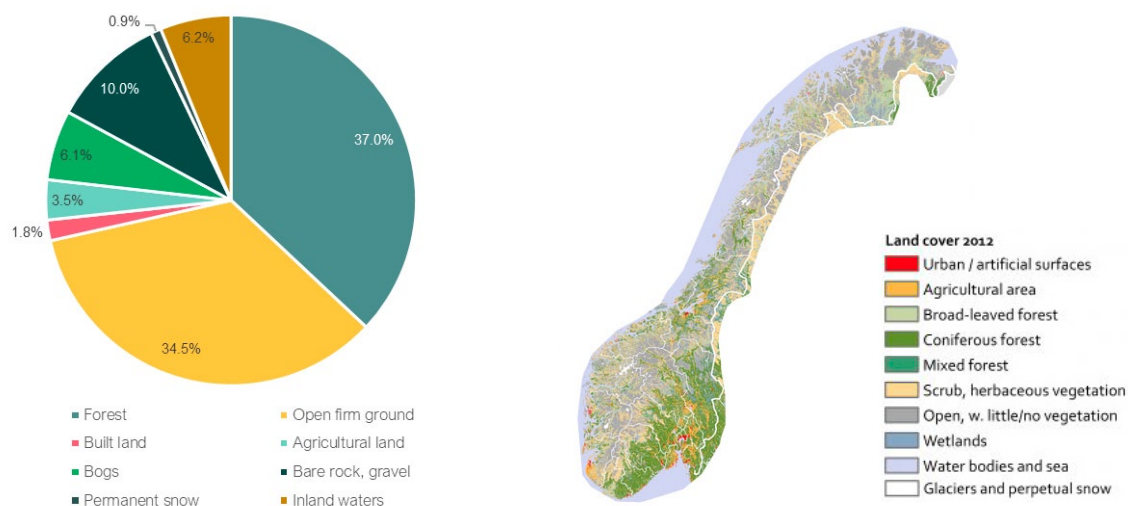
⁵⁵ Klima- og miljødepartementet (Ministry of Climate and Environment). (2021). *Norway's Climate Action Plan for 2021–2030*.

www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/en-gb/pdfs/stm202020210013000engpdfs.pdf

⁵⁶ Food and Agriculture Organization. (2020). *Arable Land (% of land area) – Norway*.

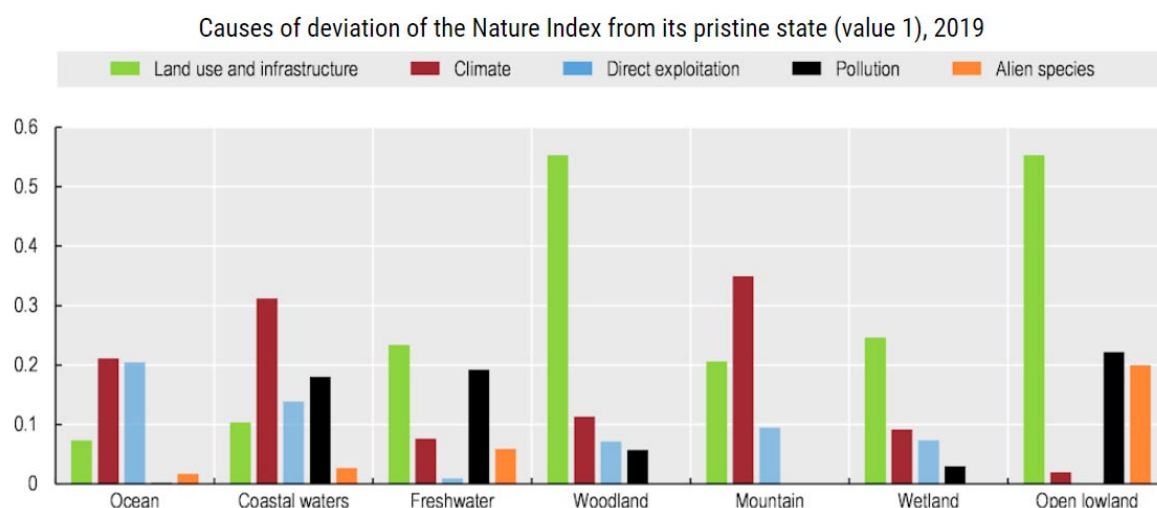
<https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.ZS?end=2020&locations=NO&start=1961&view=chart>

Norge har en lang kystlinje; det mest oppdaterte anslaget på den totale kystlengden er 104,600 km.⁵⁷ Fastlandskysten utgjør mindre enn en tredjedel av denne lengden; mesteparten av kystlinjen finnes langs Norges mange fjorder og øyer.⁵⁸ Det anslås at over 5,000 km² av kystsonen allerede er påvirket av menneskelig aktivitet som infrastruktur (bygninger, jernbaner, veier) og jordbruk. Over 11,000 km² regnes imidlertid fortsatt som "potensielt tilgjengelig" og kan gi muligheter for CO₂ mineralisering langs kysten (coastal enhanced weathering).⁵⁹



Figur 9: (Venstre) Landdekning i Norge etter areal (Høyre) Kart over landdekning i Norge (2012)^{60,61}

Ulike landområder er utsatt for ulike faktorer som påvirker deres økologiske tilstand – våtmarker står i fare for arealtap og gjengroing, fjellområder er truet av forringelse og fragmentering, og åpne lavlandsområder er utsatt for gjengroing, intensiv jordbruksdrift og fremmede arter, som oppsummert i Figur 10. Mellom 1992 og 2018 var den største endringen i arealdekket i Norge et tap på nesten 6,000 km² våtmark, som for det meste tørket ut på grunn av miljømessige og menneskeskapte årsaker og ble til skog.⁶²



Figur 10: Faktorer som påvirker Miljødirektoratets naturindeks for naturtyper (2022)

⁵⁷ not including Svalbard or Jan Mayen

⁵⁸ Solberg, M.N. and Hestenes, S.G. (2023). Derfor har lille Norge verdens nest lengste kystlinje.

www.nrk.no/nordland/derfor-er-kystlinjen-til-norge-lenger-enn-russland-sin-1.16309554

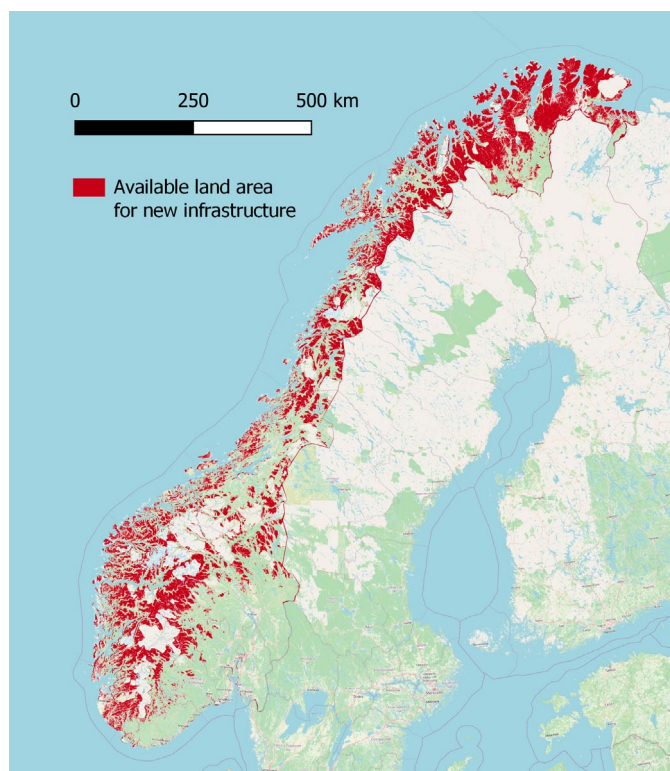
⁵⁹ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2023). Construction in the coastal zone. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/areal/statistikk/byggeaktivitet-i-strandsonen

⁶⁰ Food and Agriculture Organization. (2020). Arable Land (% of land area) – Norway.

<https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.ARBL.ZS?end=2020&locations=NO&start=1961&view=chart>

⁶¹ Rispling, L. (2018). Land cover 2012. <https://nordregio.org/maps/land-cover-2012/>

⁶² Zhou, N., et al. (2021). Overview of recent land cover changes, forest harvest areas, and soil erosion trends in Nordic countries. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.07.001>



Figur 11: Kart over potensielt tilgjengelig areal i Norge for utplassering av CDR (2023)

Noen typer landområder er underlagt beskyttende eller gjenopprettende retningslinjer. Visse friluftsområder, kulturmark, alle våtmarker og naturressurser er vernet, og det er begrenset hva som er tillatt av infrastruktur i eller rundt disse områdene. For eksempel reguleres jordbruksarealer av konsesjonsloven, odelsloven, jordloven og skogloven, som i stor grad fokuserer på å bevare bruken og driften av jordbruksarealene og legge til rette for privat grunneierskap.⁶³ Ferskvannssystemer, gressletter og våtmarker er fokusområder for restaurering.⁶⁴

Kart over ulike landtyper og verneområder ble plottet inn i QGIS for å vurdere det potensielle arealet som kan være tilgjengelig for CDR-utrulling i Norge.

Av Norges landareal på 385,207 km² kan potensielt 121,731 km² være tilgjengelig for ny utbygging (Figur 11). I de påfølgende kapitlene er det gjort en nærmere evaluering av dette landarealet basert på lagringsmuligheter og værforhold.

2.4. Naturlige forhold i Norge

Sammenhengen mellom utetemperatur og strømforbruk er mer utpreget i Norge enn i andre land. Dette er viktig i CDR-sammenheng, spesielt for DACCS, der omgivelsestemperaturen og luftfuktigheten i luftstrømmen har stor innvirkning på ytelsen til DACCS. Naturgitte forhold er også et avgjørende kriterium for naturbaserte CDR-metoder, som for eksempel påskoging. Vær- og jordforholdene vil påvirke veksten av avlinger, og dermed også deres evne til å absorbere CO₂.

⁶³ OECD. (2021). Policies for the Future of Farming and Food in Norway. <https://doi.org/10.1787/20b14991-en>

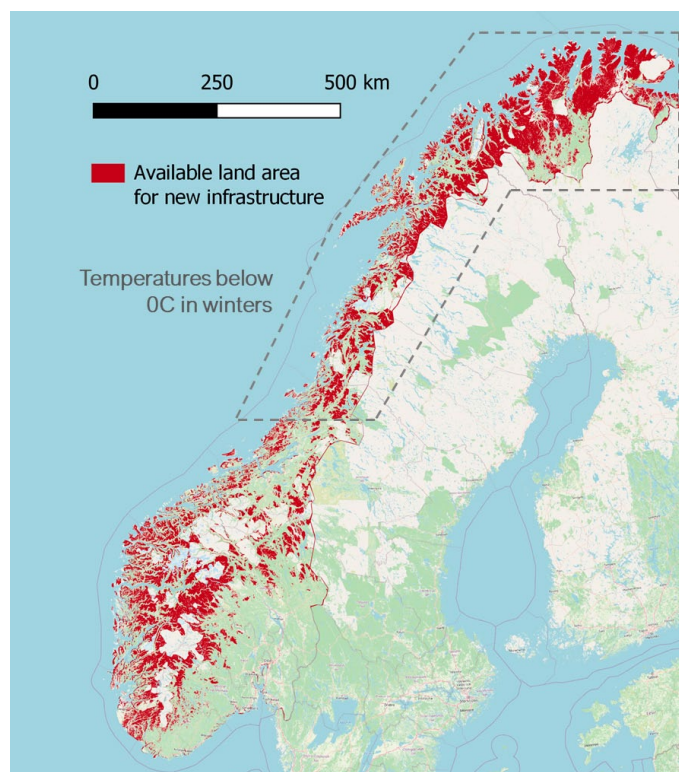
⁶⁴ Halldórsson, G., et al. (2012). Restoration of damaged ecosystems in the Nordic countries. <https://land.is/wp-content/uploads/2018/01/ReNo.pdf>

Temperatur i Norge

Mesteparten av Norge har et maritimt klima med milde vintre og kjølige somre. På grunn av innflytelsen fra Nord-Atlanteren har Norge et mye varmere klima enn det breddegraden skulle tilsi. Den årlige gjennomsnittstemperaturen i Norge har økt med 1.1 °C siden 1900. Oppvarmingen forventes å fortsette – i et scenario med høye utslipp anslås gjennomsnittstemperaturen ved slutten av århundret å være omtrent 4,5 °C høyere enn det den var i perioden 1971–2000. Temperaturøkningen vil sannsynligvis bli særlig markant i den nordlige delen av landet og om vinteren. Oppvarmingen forventes å påvirke energibehovet, hovedsakelig ved å redusere forbruket til oppvarming. Sommertørken kan bli mer alvorlig på grunn av økt fordampning.

Flere regioner i Norge har typisk temperaturer under 0 °C i lange perioder om vinteren. Figur 12 viser de typiske regionene med denne lave temperaturen, blant de tilgjengelige landområdene i Norge for implementering av CDR. Selv om flere andre områder også forventes å ha temperaturer under 0 °C, har området som er markert på kartet, typisk lavere temperaturer i lengre perioder om vinteren. Som nevnt tidligere, kan lave temperaturer være utfordrende for visse CDR-metoder, som DACCS. En nærmere vurdering av dette er gjort i kapittel 5.1.

For alle årstider indikerer framskrivningene en oppvarming i Norge (Figur 13).⁶⁵ Denne temperaturøkningen kan påvirke energibehovet ved å redusere antall varmedager (HDD). Ifølge en vurdering av klimatilpasning i Norge vil mildere vintre sannsynligvis redusere energibehovet til oppvarming, særlig i den sørlige delen av landet.⁶⁷ Økningen i antall kjøledager kan imidlertid føre til økt etterspørsel etter kjøling.

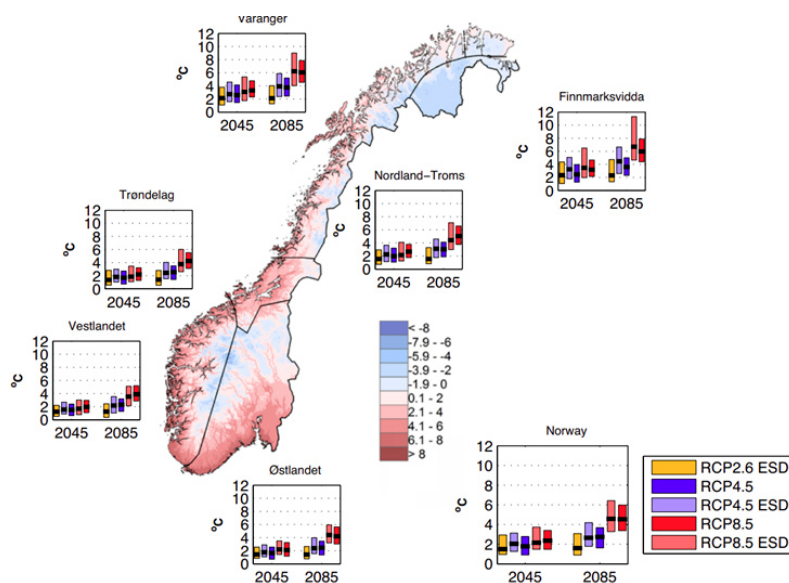


Figur 12: Tilgjengelig areal i Norge for utbygging av ny infrastruktur, med identifiserte områder med temperaturer under 0 °C i lengre perioder om vinteren (2023)

⁶⁵ Carbon Limits Assessment using information from yr.no.

⁶⁶ Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf

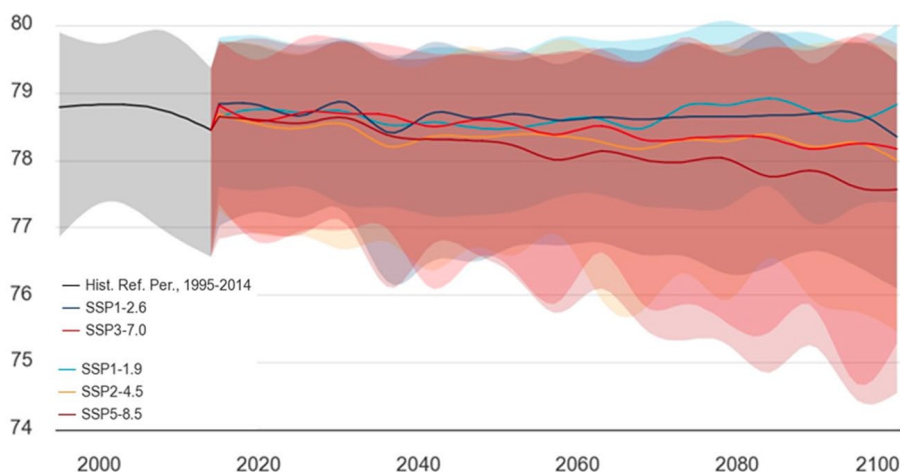
⁶⁷ Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2013). *Climate change adaptation in Norway*. www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/en-gb/pdfs/stm201220130033000engpdfs.pdf



Figur 13: Beregnet endring i årstemperatur fra perioden 1971–2000 til 2031–2060 (2045) og 2071–2100 (2085)⁶⁸

Luftfuktighet i Norge

Norge har vanligvis en relativ luftfuktighet på mellom 60 og 90%. Den laveste luftfuktigheten observeres i sommermånedene, mellom april og juli, mens luftfuktigheten er svært høy (>80%) mellom oktober og februar. Dette er et viktig aspekt å ta hensyn til for CDR-teknologier som DACCS, som kan påvirkes av den relative luftfuktigheten i innløpsluftstrømmen. Det forventes at Norge sannsynligvis vil oppleve en nedgang i den relative luftfuktigheten nær overflaten (Figur 14). Endringer i den relative luftfuktigheten nær overflaten påvirkes sterkt av evapotranspirasjon, som undertrykkes av uttørking av jordsmonnet og plantenes respons på økende atmosfæriske CO₂ nivåer.⁶⁹



The following changes (given as median values) are estimated in Norway by the end of this century:

- Annual temperature will increase by ca. 4.5 °C (interval: 3.3 to 6.4 °C)
- Annual precipitation will increase by ca. 18 % (interval: 7 to 23 %)
- Mean sea level will increase by 15 - 55 cm (depending on location) along the Norwegian coast
- Near-surface relative humidity is expected to decrease

Figur 14: Forventet relativ luftfuktighet i Norge⁷⁰

Naturlige forhold har innvirkning på potensialet for ulike CDR-metoder. Visse typer DACCS-teknologier, som «mineral looping DACCS», er avhengig av at luftfuktigheten er innenfor et visst område for å fungere optimalt (se kapittel 5.1).⁷¹ Ettersom luftfuktigheten vanligvis er høy i Norge, vil den forventede nedgangen i luftfuktighet ikke påvirke potensialet for implementering av CDR.

⁶⁸ Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf

⁶⁹ Climate Change Knowledge Portal. (n.d.) *Climate Projections: Mean Projections*. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/norway/climate-data-projections>

⁷⁰ Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf

⁷¹ Lower humidity conditions allow for better interaction between the CO₂ in the air and the sorbent material, aiding in the absorption of CO₂ from the atmosphere.

2.5. Tilgjengelighet av biomasse i Norge

Norge bruker biomasse i en rekke industrisektorer, blant annet waste-to-energy (energi i form av varme og biodrivstoff), kjemikalier og sement, papir og produksjon av biometan.^{72,73} Dette kapittelet beskriver de viktigste kildene for biomasse i Norge og tilhørende prosesser. Utslippene fra biomasserelaterte forbrennings-/fermenteringsaktiviteter kan klassifiseres som "Bio-CO₂". Når dette fanges og lagres, kan det bidra til å fjerne CO₂ fra atmosfæren. Kunnskap om hvor utslippene skjer, hvor store de er, og hva er avstanden til CO₂ lagringsstedene, vil være viktige parametere å ta hensyn til når man skal vurdere potensialet for Bio-CCS i Norge.

Trevirke

Norges primære biomasseråstoff er trevirke som produseres fra landets store skogområder. Mesteparten av biomassen som produseres i Norge, brukes til produksjon av papirmasse, papir og treprodukter, og omtrent 20% brukes til energiproduksjon.⁷⁴ I 2021 ble det avvirket 11,5 millioner kubikkmeter tømmer som ble brukt til ulike industrielle prosesser.⁷⁵ Det anslås at opptil 15 millioner kubikkmeter kan avvirket på en bærekraftig måte hvert år.⁷⁶

Organisk avfall

Organisk avfall, inkludert kommunalt avfall, treavfall og i mindre grad restprodukter fra landbruket, er en av Norges viktigste biomasseressurser. Organisk avfall omfatter også slam som brukes som organisk råstoff i prosesser som biogassproduksjon, kompostering, forbrenning eller materialgjenvinning (selv om det ofte inneholder noe uorganisk materiale).⁷⁷

I 2021 produserte Norge 2.36 millioner tonn (Mt) biomasseavfall, med fordelingen av kildene som vist i Figur 15 (a). Treavfall, papir- og pappavfall og våtorganisk avfall dominerer blant disse kildene. Våtorganisk avfall stammer ofte fra matavfall eller produksjonsprosesser. Nesten 50% (212,000 tonn) av våtorganisk avfall ble generert av husholdninger, mens 200,000 tonn kom fra industrien eller tjenesteytende næringer.⁷⁸

I 2021 ble 30% av Norges organiske avfall brent, og 14% ble brukt til biogassproduksjon.⁷⁹ Nesten 50% ble sendt til materialgjenvinning eller kompostering. Kompost som produseres i Norge blir som regel tilført jordbruksarealer eller brukt til å lage ulike jordprodukter, som biotak, jordblandinger og pellets.⁸⁰ Animalske biprodukter, først og fremst husdyrgjødsel og rester fra fiskeoppdrett, er en annen form for organisk avfall som brukes til å generere energi til industrielle formål eller til å lage biogass. Figur 15 (b) illustrerer mengden animalske biprodukter som ble brukt til å produsere biogass og til kompost i 2020.

I 2017 undertegnet flere departementer og bransjeorganisasjoner i Norge en avtale om å redusere matsvinnet med 50% innen 2030. Dette er i tråd med FNs bærekraftsmål 12.3. Avtalen omfatter hele verdikjeden, fra primærproduksjon til dagligvarehandelen, og innebærer blant annet en satsing på reduksjon av avfall fra husholdningene.⁸¹ Dette vil redusere mengden våtorganisk avfall og avfall fra animalske biprodukter som genereres i Norge.

⁷² Norske utslipp. (n.d.). Utslipp til luft i Norge. www.norskeutslipp.no/no/Komponenter/Utslipp/Karbondioksid-biomasse/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=179

⁷³ IEA Bioenergy. (2021). Implementation of bioenergy in Norway – 2021 update. www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/11/CountryReport2021_Norway_final.pdf

⁷⁴ Hamilton, R. (2019). The Role of Biomass in Norway's Energy Mix. www.sum.uio.no/include/publikasjoner-media/sommerstudier/2019/the-role-ryan-hamilton.pdf

⁷⁵ Helseth, E.V., et al. (2022). Forest ecosystem services in Norway: Trends, condition, and drivers of change (1950–2020). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101491>

⁷⁶ Center for International Climate Research (CICERO). (2021). Forest-based bioenergy in Norway's green transition: Balancing production and other societal interests.

<https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmlui/bitstream/handle/11250/2834949/Report%202021%2009%20web.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁷⁷ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2022). Waste accounts. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfallsregnskapet

⁷⁸ Scarlat, N., et al. (2011). An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use. DOI: 10.1016/j.rser.2011.04.028

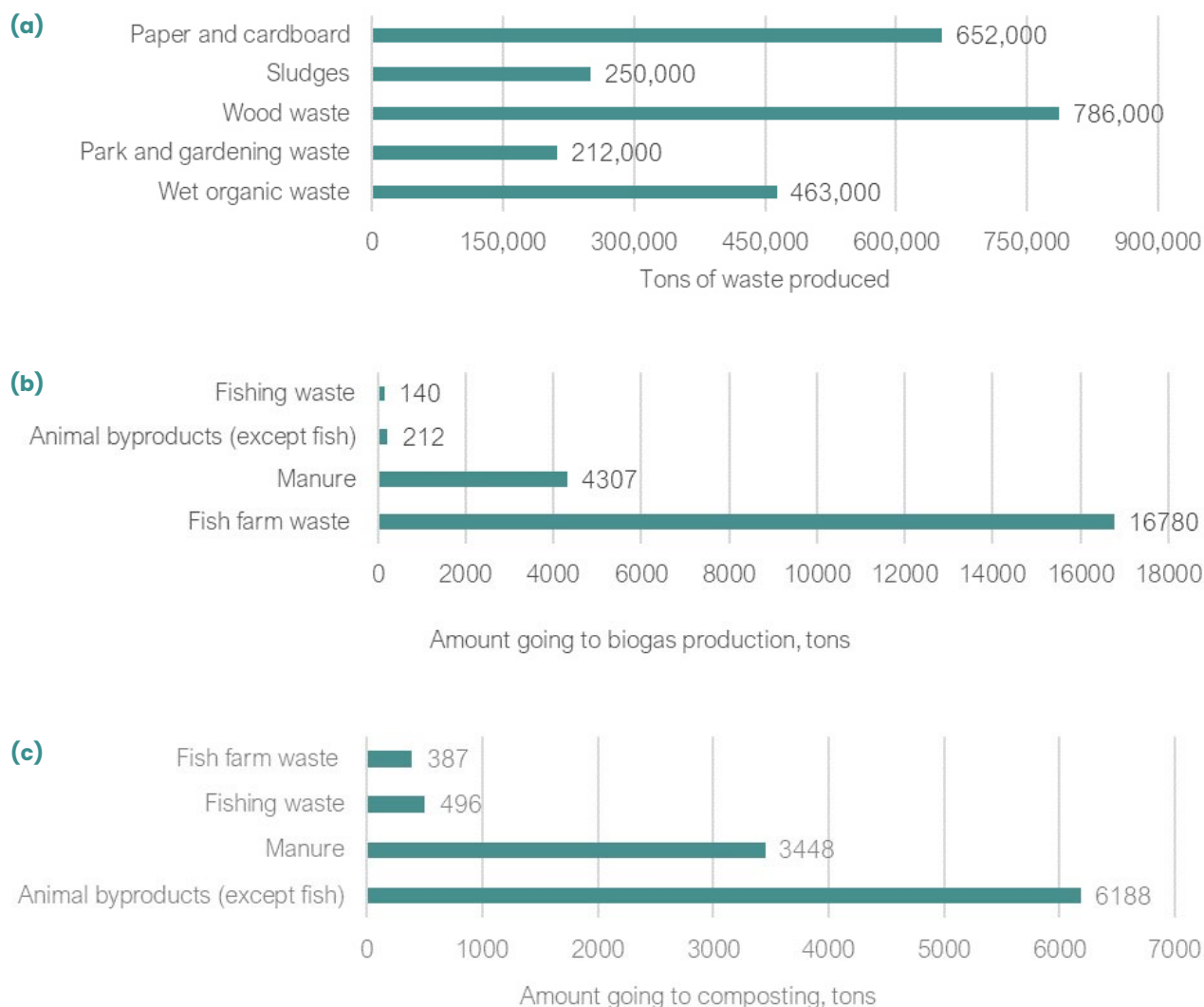
⁷⁹ Scarlat, N., et al. (2011). An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use. DOI: 10.1016/j.rser.2011.04.028

⁸⁰ Ålund, I., et al. (2021). Behandling og disponering av avløpsslam og annet organisk avfall i Norge (M-2155 I 2021; p. 45).

www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2021/desember-2021/behandling-og-disponering-av-avlopsslam-og-annet-organisk-avfall-i-norge/

⁸¹ One Planet Network. (2023). The Norwegian Voluntary Agreement on Reduction of Food Waste.

www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/policies/norwegian-voluntary-agreement-reduction-food-waste



Figur 15: (a) Produsert biomasse (2021) (b) Animalske biprodukter brukt i biogassproduksjon (2020) (c) Animalske biprodukter kompostert (2020)⁸²

Energivekster

Energivekster, som er vekster som dyrkes utelukkende med formålet om å produsere bioenergi, er ikke en betydelig kilde til biomasse i Norge. Scarlat et al. (2011) anslå produksjonspotensialet for energivekster i Norge til å ligge på mellom 3.5 og 11 PJ i 2011, mens energipotensialet fra skogsektoren ble anslått til å ligge på mellom 88 og 124 PJ.⁸³ I dag er energivekster fortsatt ikke en viktig fornybar energiressurs i Norge, som i større grad satser på vannkraft.⁸⁴ Den fremtredende bruken av trebiomasse i Norge og mangelen på tilgjengelig jordbruksareal er sannsynligvis faktorer som forklarer hvorfor bruken av energivekster ikke er mer utbredt i landet.⁸⁵

Formålsdyrking av alger er en relativt ny satsing i norsk havbruksnæring – de første konsesjonene ble gitt i 2014. I 2022 ble det solgt 221 tonn alger i Norge, hovedsakelig til bruk i kosmetikk, legemidler og matprodukter.⁸⁶

⁸² Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2022). Waste accounts. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfallsregnskapet

⁸³ Scarlat, N., et al. (2011). An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use. DOI: 10.1016/j.jrser.2011.04.028

⁸⁴ Støa, P., et al. (2019). Energi og Industri: Mulighetsrom verdikjeder. NHO Veikart for fremtidens næringsliv.

www.nho.no/contentassets/998441bd312b471e964a6d9ea022afe8/sintef-rapport-2019_01139_energi-og-industri.pdf

⁸⁵ Norsk Fjernvarme. (n.d.). Om energikildene. www.fjernkontrollen.no/content/om-energikildene/

⁸⁶ Fiskeridirektoratet (Directorate of Fisheries). (2023). Høsting av alger til konsum og fôr. Mengde i tonn. Verdi i 1000 kroner. dub.sh/FFSA3LW

Fremtidig biomassepotensial i Norge

En rapport fra Nordisk Energiforskning fra 2019 antyder at tilgangen på skogsbiomasse til bioenergi ikke forventes å øke i fremtiden på grunn av restriksjoner på arealbruk, bevaringstiltak og større vekt på andre energikilder.⁸⁷ På samme måte er det lite sannsynlig at produksjon av energivækster vil vokse betydelig i nær fremtid, fordi nasjonal politikk for øyeblikket ikke fremmer eller legger til rette for vekst i denne sektoren.

Norsk Industris veikart for avkarbonisering av prosessindustrien omtaler potensialet for å øke den bærekraftige avvirkningen av trevirke i Norge fra dagens nivå på 10 millioner kubikkmeter til opptil 15 millioner kubikkmeter årlig.⁸⁸ Norsk Industri understreker viktigheten av å optimalisere bruken av tilgjengelig biomasse og fremme en politikk som øker tilgangen på trevirke gjennom bærekraftige verdikjeder fra skogen.⁸⁹

Tabell 6 oppsummerer estimater for nåværende og fremtidig tilgjengelighet av biomasseråstoff basert på data fra studier utført av henholdsvis Carbon Limits⁹⁰ og SINTEF. Mer informasjon om disse studiene finnes i Vedlegg 4. Tabellen viser at biomassepotensialet som er estimert i SINTEF-rapporten, er svært høyt. For å anslå et realistisk potensial må man ta hensyn til flere aspekter, som politiske forhold som muliggjør innsamling av råstoff, tilgjengeligheten til råstoffet og den økonomiske levedyktigheten til innsamlingsprosessen. Selv om det vil være utfordrende å nå dette potensialet innen 2030, gir estimatene et rimelig mål om å nå det innen 2040 – 2050.

Sektor	Råstoff	2030 (kt) (CL)	2020 (kt) (SINTEF)	2030 (kt) (SINTEF,BAU)	Inkrement (2020–2030) (SINTEF, BAU)
Landbruk	Husdyrgjødsel	859	4016	4145	0.3% p.a.
	Halm	600 a	169	174	0.3% p.a.
Skogbruk	Trevirke til ikke-energiprodukter (inkl. eksport)	–	0	0	2.8% p.a.
	Bark	–	704	898	2.8% p.a.
	Restprodukter og tømmerstokker fra treforedling	–	1060	1357	2.8% p.a.
	Rester fra byutvidelse	–	331	354	2.8% p.a.
	Grener og topper	–	3207	4104	2.8% p.a.
	Stubber og røtter	–	0	0	2.8% p.a.
Marine	Makroalger	–	0	0	50.0% p.a.
Avfall	Treavfall	–	552	661	2.0% p.a.
	Avløpsslam	133	608	652	0.7% p.a.
	Fiskeavfall	–	157	157	0% p.a.
	Fiskeensilasje	125	30	39	2.0% p.a.
	Fiskeslam	20 b	126	168	4.0% p.a.
	Våtorganisk avfall fra husholdninger	318 c	220	234	0.7% p.a.
	Våtorganisk avfall fra industrien	63	169	181	0.7% p.a.
	Blandet avfall til avfall-til-energi	210 d	1080	1080	0% p.a.
	Eksportert avfall	–	0	0	1.0% p.a.

a Inkluderer jordbruksrester av halm og kornrensere. **b** Presentert som fiskeslam i Carbon Limits-rapporten (CL).

c Presentert som matavfall i CL-rapporten. **d** Inkluderer (1) Matavfall: grossister, dagligvarebutikker (2) Matavfall: cateringindustrien (3) Brukt matolje (UCO) og (4) grønnsaks- og fruktrester.

Tabell 6: Tilgjengelig biomasseråstoff i dag og framskriving av tilgjengelig råstoff i 2030 av Carbon Limits og SINTEF.^{91,92}

⁸⁷ Pöry Management Consulting Oy. (2019). *Potential for bioenergy in the Nordics*.

www.nordicenergy.org/wordpress/wp-content/uploads/2019/01/Nordic_Bioenergy_Potential_P%C3%B6ry_Final-Report.pdf

⁸⁸ Center for International Climate Research (CICERO). (2021). *Forest-based bioenergy in Norway's green transition: Balancing production and other societal interests*. <https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmli/bitstream/handle/11250/2834949/Report%202021%2009%20web.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁸⁹ Norsk Industri. (2016). *Veikart for prosessindustrien – økt verdiskaping med nullutslipp i 2050*.

www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/veikart-for-prosessindustrien_web.pdf

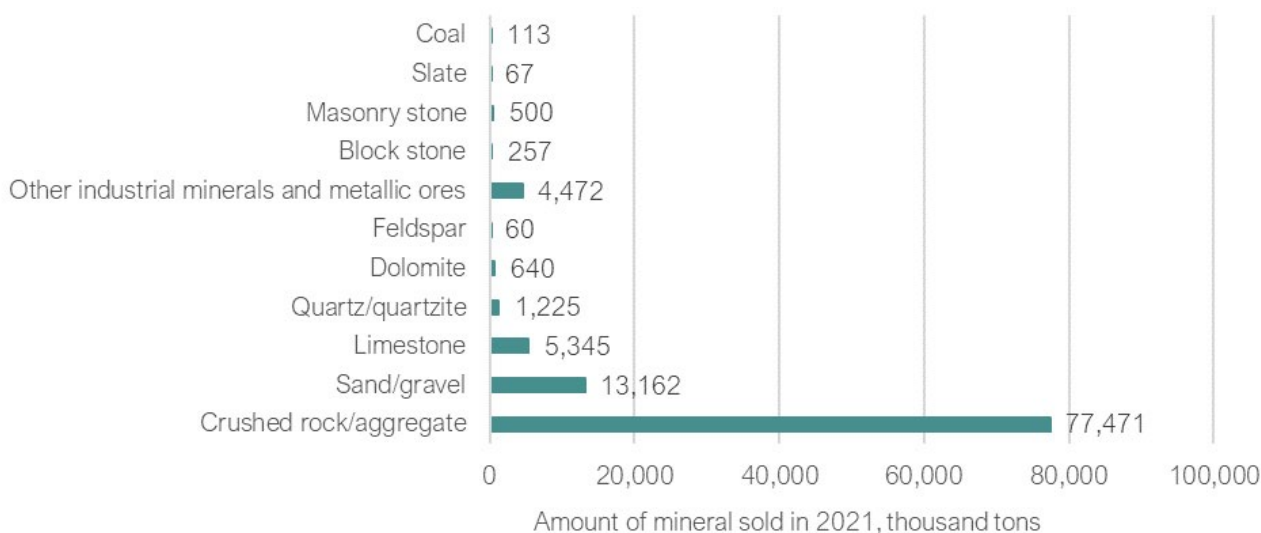
⁹⁰ Isakova, I., et al. (2019). *Ressursgrunnlaget for produksjon av biogass i Norge i 2030: Sammenfatning av kunnskap og oppdaterte analyser*. Carbon Limits.

⁹¹ Isakova, I., et al. (2019). *Ressursgrunnlaget for produksjon av biogass i Norge i 2030: Sammenfatning av kunnskap og oppdaterte analyser*. Carbon Limits.

⁹² Carbon Limits analysis using information from SINTEF paper: Everson, N. et al. (2023). *What is the potential of BioCCS to deliver negative emissions in Norway? From biomass mapping to a window of negative emissions potential*. <https://psecommunity.org/LAPSE-2023.36828>

2.6. Tilgang på mineralressurser i Norge

Per i dag har Norge ikke omfattende offentlige data om de totale mineralressursene i landet. Den nasjonale mineralstrategien, lansert i juni 2023, identifiserer imidlertid fem fokusområder for sektoren. Et av målene er å forbedre prosjektenes tidslinjer og effektivitet, delvis ved å forbedre kartleggingen av mineralressurser og prosjektplanlegging.⁹³ En oversikt over mineraler som ble solgt i Norge i 2021, er presentert i Figur 16.⁹⁴



Figur 16: Solgte mineralressurser i Norge i 2021⁹⁵

Olivin, et silikatmineral som kan kategoriseres under “Andre industrimineraler og metalliske malmer” i Figur 16 er en viktig ressurs for karbonfjerningsteknologier som CO₂ mineralisering (Enhanced rock weathering) på land og ved kysten. Norge har sannsynligvis de største olivinreservene i verden – landet står for opp mot halvparten av den globale produksjonen.⁹⁶ I gjennomsnitt ligger Norges årlige produksjonskapasitet for olivin på rundt 1 Mt per år, men produksjonen kan nå opp til 3 Mt per år i perioder med høy etterspørsel.⁹⁷ Olivin utvinnes fra dunnittforekomster, som for det meste er konsentrert på Sunnmøre og i Nordfjord.⁹⁸ Figur 17 viser lokaliteter av olivinforekomster i Norge, identifisert av NGU.

Dolomitt er et karbonatmineral som kan brukes i teknologier for alkalisering av havet. Som presentert i Figur 16 ble det solgt 0.64 Mt dolomitt i Norge i 2021, men det anslås at det produseres opptil 1 Mt av mineralet i Norge hvert år.⁹⁹ Dolomitt utvinnes i dag i Sørfold, Fauske, Vefsn og Ballangen. Kalkstein, som også er viktig for alkalisering av havet, finnes i Norge i sedimentbassenger til havs. Den finnes også i lett metamorfosert form i Oslofeltet, et geologisk område som strekker seg nord for Oslo til Brumunddal og sørover til Langesund.^{100,101,102} I 2021 ble det solgt ca. 5.3 Mt kalkstein i Norge. Kalksteins- og marmorlokaliteter i Norge er illustrert i Figur 17 nedenfor.

⁹³ Nærings- og fiskeridepartementet (Ministry of Trade, Industry, and Fisheries). (2023). *Norwegian Mineral Strategy*.

www.regjeringen.no/contentassets/1614eb7b10cd4a7cb58fa6245159a547/norges-mineralstrategi_engelsk_uu.pdf

⁹⁴ Direktoratet for mineralforvaltning (Directorate of Mining). (2022). *Harde fakta om mineralnæringen 2021*. https://dirmin.no/sites/default/files/harde_fakta_-_oppslag.pdf

⁹⁵ Direktoratet for mineralforvaltning (Directorate of Mining). (2022). *Harde fakta om mineralnæringen 2021*. https://dirmin.no/sites/default/files/harde_fakta_-_oppslag.pdf

⁹⁶ Norge Geologiske Undersøkelse (NGU). (n.d.). *Olivin*. www.ngu.no/geologiske-ressurser/olivin

⁹⁷ Interview with Sibelco

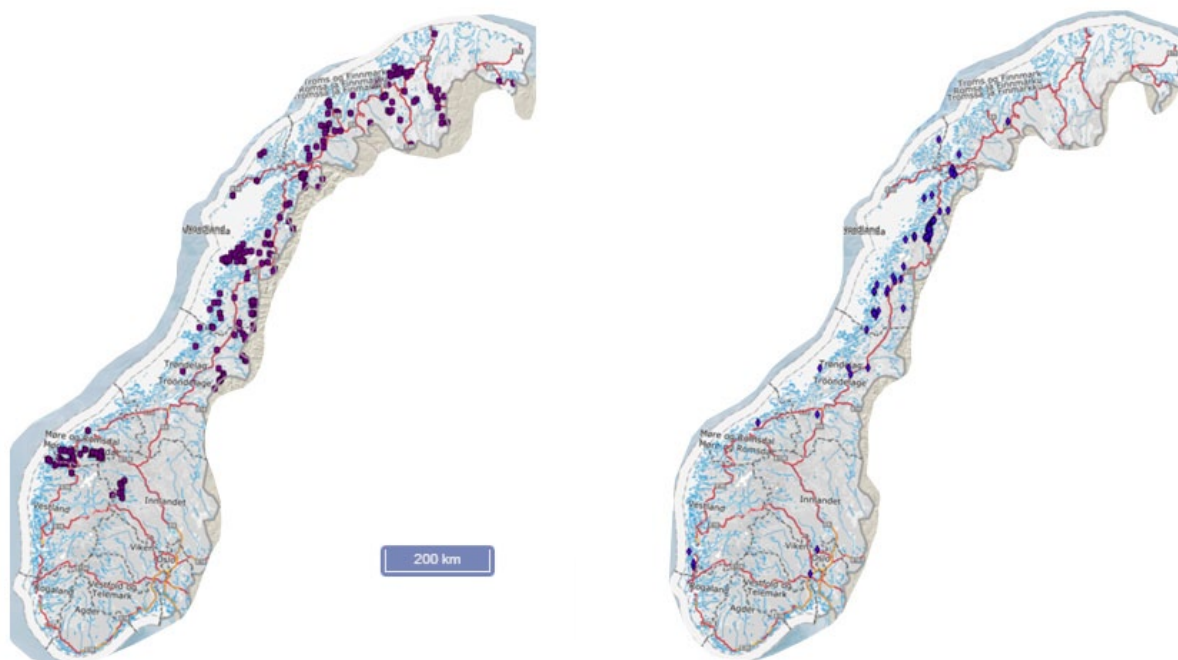
⁹⁸ Store norske leksikon. (2020). *Olivin*. <https://snl.no/olivin>

⁹⁹ Store norske leksikon. (2023). *Dolomitt*. <https://snl.no/dolomitt>

¹⁰⁰ Norge Geologiske Undersøkelse (NGU). (n.d.). *Kalkstein*. www.ngu.no/om-geologi/kalkstein

¹⁰¹ Store norske leksikon. (2020). *Kalkstein*. <https://snl.no/kalkstein>

¹⁰² Store norske leksikon. (2023). *Oslofeltet*. <https://snl.no/Oslofeltet>



Figur 17(Venstre) Olivinreserver i Norge. (Høyre) Kalkstein- og marmorreserver i Norge¹⁰³

Store mengder basalt ble avsatt i Norge for millioner av år siden, både på land og til havs. Den finnes blant annet på Krokskogen, i Holmestrand, Bømlo, Karmøy og Lyngen kommuner og i de geologiske regionene Bergensfeltet og Trondheimsfeltet.¹⁰⁴ I tillegg er det identifisert over 100 basaltstrømmer i Norskehavet.¹⁰⁵ Det er imidlertid ennå ikke gjort noen beregninger av hvor store reservene er.

De fem satsingsområdene i Norges nasjonale mineralstrategi inkluderer også et mål om å styrke næringen, særlig i globale klimarelaterte verdikjeder, gjennom internasjonalt samarbeid. Dette indikerer en ambisjon om å videreutvikle industrien rundt mineraler knyttet til karbonfjerning.

2.7. CO₂ transport- og lagringspotensial i Norge

En av de viktigste vurderingene som kreves for å vurdere DACCS- og bio-CCS-potensialet i et land, er en estimering av CO₂ lagringspotensialet i eller rundt landet. CO₂ kan lagres i flere underjordiske formasjoner og i basalt. I Norge finnes det betydelig lagringskapasitet for CO₂ i dype saltvannsakviferer til havs og i uttømte olje- og gassreservoarer. En stor del av den europeiske lagringskapasiteten finnes i sedimentære bassenger på norsk kontinentalsokkel.¹⁰⁶

CO₂ lagring i geologiske formasjoner

Anslagene for lagringskapasiteten på norsk sokkel er betydelige og varierer fra 29 GtCO₂ til 86 GtCO₂.^{107,108} SINTEF anslår for eksempel at dersom 10% av lagringskapasiteten utnyttes, vil det være mulig å lagre mengden CO₂ tilsvarende omtrent 40 års utslipp fra den europeiske sementindustrien.¹⁰⁹ Selv om det norske fastlandet ikke har noen dype saltvannsmagasiner egnet for lagring av CO₂, finnes det et uutnyttet potensial for karbonatisering av mineraler, som ultramafiske og mafiske bergarter samt anortositt.

¹⁰³ Norge Geologiske Undersøkelse (NGU). (n.d.). Mineralressurser – Industrimineraler, metaller og naturstein. https://geo.ngu.no/kart/mineralressurser_mobil/

¹⁰⁴ Store norske leksikon. (2020). Basalt. <https://snl.no/basalt>

¹⁰⁵ Kjølhamar, B., et al. (2021). New approaches to CCS. DOI: 10.3997/1365-2397.fb2021043.

¹⁰⁶ Anthonsen, K.L. et al. (2012). CO₂ storage potential in the Nordic region.

www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/nordiccs/d-6.1.1205-2-co2-storage-potential-in-the-nordic-region_web.pdf

¹⁰⁷ EU GeoCapacity Project. (n.d.). GeoCapacity. www.geology.cz/geocapacity

¹⁰⁸ Norwegian Petroleum Directorate. (n.d.). CO₂ Atlas for the Norwegian Continental Shelf.

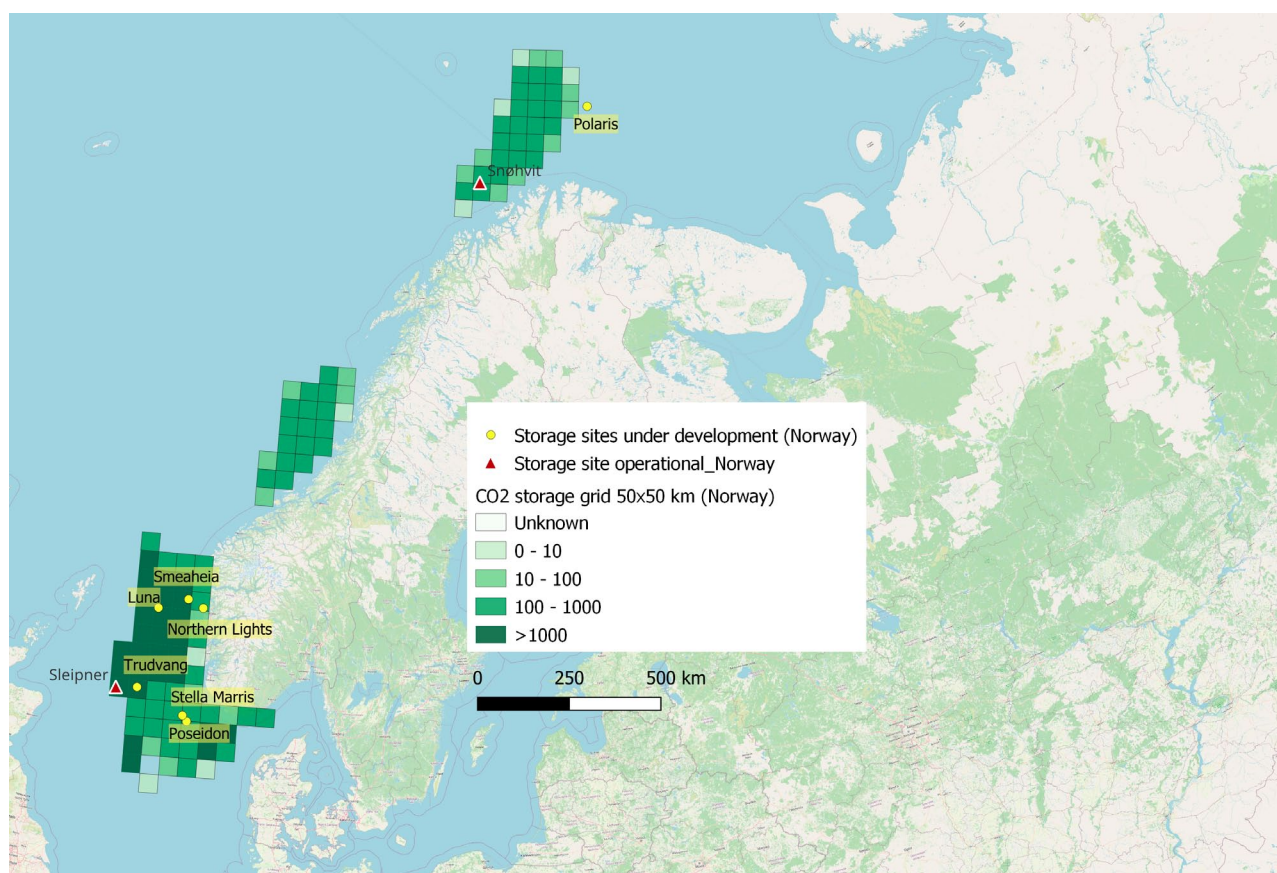
www.npd.no/en/facts/publications/co2-atlases/co2-atlas-for-the-norwegian-continental-shelf/

¹⁰⁹ Gassnova. (2023). Safe carbon storage. <https://gassnova.no/en/news/safe-carbon-storage>

Oljedirektoratet (OD) har evaluert lagringskapasiteten til akviferer og olje- og gassfelt i Nordsjøen, Norskehavet og det sørlige Barentshavet. Resultatene er presentert i Tabell 7 nedenfor. Som det fremgår av tabellen, tilhører grunnvannsmagasinerne i Nordsjøen og Norskehavet områder der det er lite sannsynlig at det vil oppstå interessekonflikter med petroleumsindustrien – de fleste av disse områdene ble derfor kategorisert som “grønne” når det gjelder modenhet. De fleste delene av det sørlige Barentshavet var imidlertid av interesse for fremtidig petroleumsutvinning – derfor er de undersøkte akvifere markert med blått.

Kolonnen “Datakvalitet” i Tabell 7 viser hvor mye data som er tilgjengelig for potensielle lagringssteder. De fleste områdene som nylig har blitt utforsket av petroleumsindustrien, er dekket av 3D-seismiske data (markert med grønt). Akviferer med få brønnboringer og som hovedsakelig er dekket av 2D-seismiske data er markert med oransje. De som kun har 2D-seismikk eller sparsomt med data, er markert med rødt. Generelt er datadekningen for de undersøkte akvifere begrenset, ettersom de ligger i mindre attraktive områder for petroleumsindustrien. For å betegne slike akviferer som potensielle lagringssteder, vil det være nødvendig å innhente mer data.

Figur 18 illustrerer lagringskapasiteten for CO₂ på norsk sokkel, samt eksisterende og planlagte lagringsprosjekter for CO₂. Norge har lang erfaring med lagring av CO₂ i geologiske formasjoner. Det finnes to eksisterende lagringsanlegg ved olje- og gassfeltene Sleipner og Snøhvit. Mer enn 20 MtCO₂ fra Sleipner Vest-feltet er nå lagret i Utsira-formasjonen i Nordsjøen. Hvert år siden 1996 har 1 MtCO₂ blitt fanget fra naturgassproduksjonen på feltet og lagret i en akvifer.¹¹⁰ Lagringen av CO₂ på Snøhvit-feltet startet i 2008 og foregår i en dyp saltvannsakvifer. CO₂ injiseres med en årlig rate på 0.7 Mt i vannmettede sandsteinsreservoarer under Snøhvit-feltet i Barentshavet.



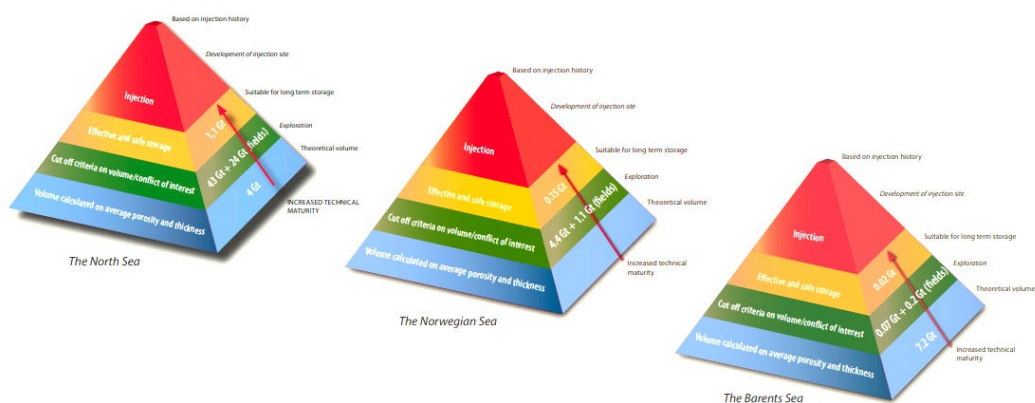
Figur 18: Oversikt over CO₂ lagringspotensial og lagringsaktiviteter i Norge¹¹¹

¹¹⁰ Gjeldvik, Ine T. et al. (2014). CO₂ storage in the Utsira-Skade aquifer.

www.npd.no/globalassets/1-npd/fakta/co-to/poster-co2storage-utsira-skade-aquifer-eage-2014-stavanger.pdf

¹¹¹ Carbon Limits, 2024

Aquifer	Capacity Gt	Injectivity	Seal	Maturity	Data quality
North Sea aquifers					
Utsira and Skade Formations	15,8	3	2		
Bryne and Sandnes Formations	13,6	2	2/3		
Sognefjord Delta East	4,1	3	2/3		
Statfjord Group East	3,6	2	3		
Gassum Formation	2,9	3	2/3		
Farsund Basin	2,3	2	2/3		
Johansen and Cook Formations	1,8	2	3		
Fiskebank Formation	1	3	3		
Norwegian Sea aquifers					
Garn and Ile Formations	0,4	3	3		
Tilje and Åre Formations	4	2	2/3		
Barents Sea aquifers					
Realgrunnen Subgroup, Bjarmeland Platform	4,8	3	2		
Realgrunnen Subgroup, Hammerfest Basin	2,5	3	2		
Evaluated prospects					
North Sea	0,44				
Norwegian Sea	0,17				
Barents Sea	0,52				
Abandoned fields					
North Sea	3				
Producing Fields_2050					
North Sea 2050	10				
North Sea_Troll aquifer	14				
Norwegian Sea	1,1				
Barents Sea	0,2				



Tabell 7: Oversikt over lagringskapasitet for CO₂ på norsk sokkel¹¹²

Figuren ovenfor viser de ulike modenhetstrinnene for lagringsstedene. Dette omfatter (trinn 1) lagre der det er beregnet teoretiske volumer basert på porøsitet og tykkelse (blå), (trinn 2) lagre der volumet er beregnet ved å fjerne eventuelle interessekonflikter med petroleumsindustrien (grønn), (trinn 3) lagre der fellen, reservoaret og forseglingen er evaluert i forhold til tekniske og regulatoriske kriterier (oransje), og (trinn 4) lagre der CO₂ injiseres/ har blitt injisert (rød).

¹¹² CO₂ atlas for Norwegian continental shelf

Per september 2023 har Olje- og energidepartementet gitt syv tillatelser i henhold til CO₂ lagringsforskriften.¹¹³ Disse lokalitetene er markert med gult i Figur 18. Mer informasjon om disse CO₂ lagringsprosjektene er presentert i Tabell 8.

Prosjekt	Utvikler	Type lagringsplass	Status	Kapasitet (Mt / år)	Tilgjengelig kapasitet* (Mt / år)	Start av drift
Northern Lights	Shell, Total, Equinor, Northern Lights JV DA, Climeworks	Dyp saltvannsakvifer	Under bygging Driftstillatelse utstedt	1.5–5 – 10	1	2024–2026 – 2030
Luna	Wintershall, CapeOmega	Dyp saltvannsakvifer	Utstedt letetillatelse	5	5	?
Stella Maris	Wintershall, Altera Infrastructure	Dyp saltvannsakvifer	Letetillatelse utstedt i 2023	7	?	?
Smeaheia	Equinor	Dyp saltvannsakvifer	Utstedt letetillatelse	20	20	2028
Trudvang	Sval Energi, Storegga, Neptune Energi	Dyp saltvannsakvifer	CO ₂ lagringslisens tildelt	9	9	2029
Poseidon	Aker BP / OMV (Norge) / Høegh LNG	Dyp saltvannsakvifer	Letetillatelse utstedt i 2023	5	?	2030
Polaris	Horisont Energi, (Vår Energi, Equinor until June 2023)	Dyp saltvannsakvifer	Letelicens – undergrunnsundersøkelser pågår	2	0	?

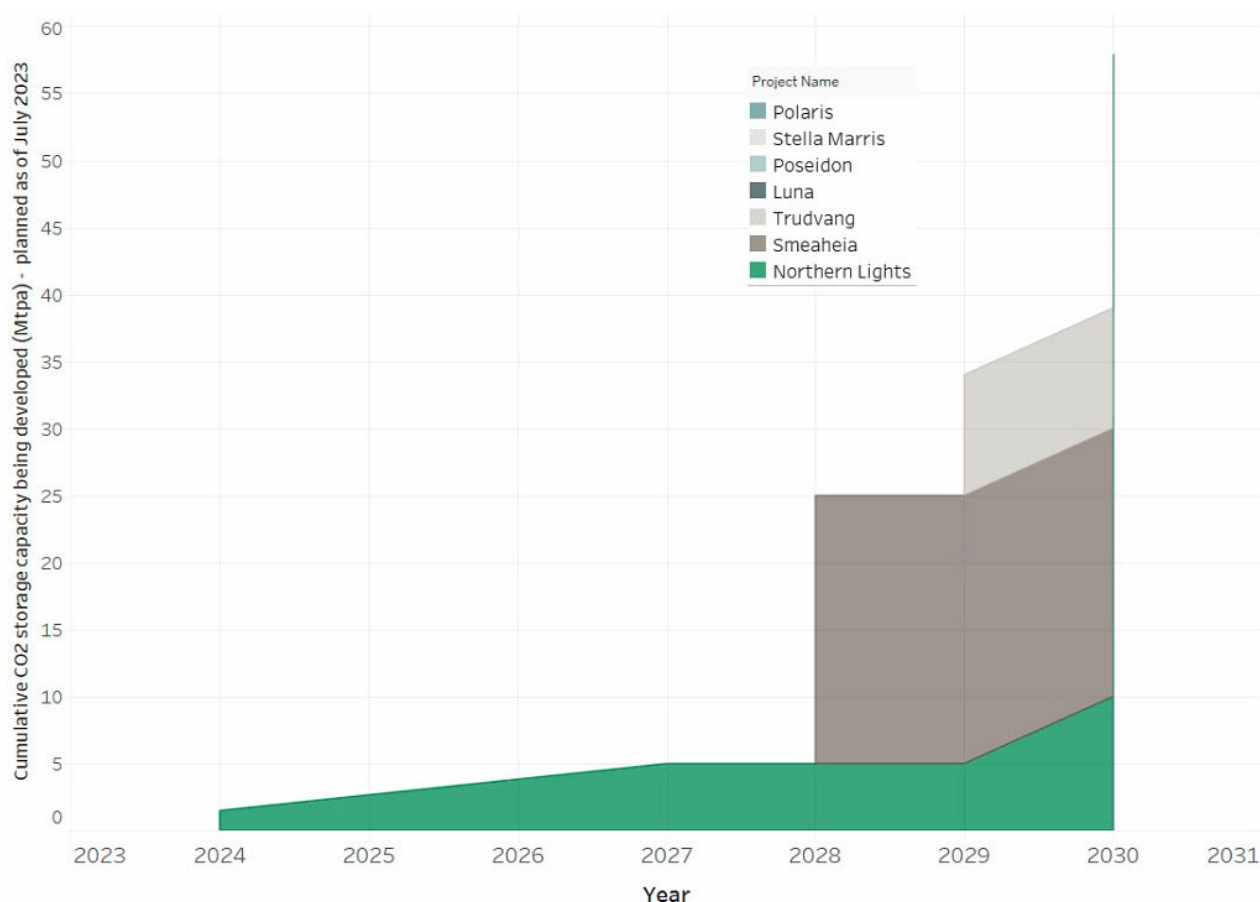
*Med tilgjengelig kapasitet menes kapasitet som ennå ikke er reservert gjennom kontrakter

Tabell 8: Oversikt over planlagte CO₂ lagringsprosjekter i Norge¹¹⁴

Den samlede lagringskapasiteten til kommende CO₂ lagringsprosjekter i Norge, som illustrert i Figur 19 forventes å nå 58 millioner tonn per år (Mtpa) innen 2030. Det er viktig å merke seg at bare 23 Mtpa av denne kapasiteten er reservert av de planlagte CO₂ fangstprosjektene, slik at 35 Mtpa av lagringskapasiteten er tilgjengelig for fremtidig allokering.

¹¹³ Norsk Petroleum. (2023). Carbon Capture and Storage. www.norskpetroleum.no/en/environment-and-technology/carbon-capture-and-storage/

¹¹⁴ Carbon Limits Assessment, based on several sources, 2023



Figur 19: Kumulativ lagringskapasitet for planlagte CO₂ lagringsprosjekter i Norge¹¹⁵

CO₂ transport

CO₂ kan transporteres med lastebil, tog, leker, skip og rørledning. Som vist i Tabell 9 er tog- og lastebiltransport relevant for små volumer (eller ca. 1,000 tCO₂ totalt per tog). De brukes vanligvis til transport over korte til mellomlange avstander og kan oppnå høyere kjørehastigheter enn andre transportmidler. Lekertransport brukes på elver og skipstransport på åpent vann. Begge har middels kapasitet (for skip kan dette øke i årene som kommer) og kan brukes på mellomlange (leker) til lange (skip) distanser. Rørledningstransport er den transportmåten som tilbyr det største volum- og avstandsspekteret. På den annen side er den mindre fleksibel enn andre typer transport på grunn av den statiske lokaliseringen, som gjør at det ikke er mulig å bytte leverandør eller destinasjon.

Transportmåte	Omtrentlig transportkapasitet (tCO ₂)	Hastighet (km/t)	Vanlig avstand
Tog	1,000 per train (~20 wagons)	60	Kort – Medium
Lastebil	20 – 30	90	Kort
Leker	6,500	18.5	Medium
Rørledning	–	18–36	Kort – Lang
Skip	+ 12,000	33	Medium – Lang

Tabell 9: Egenskaper for CO₂ transportmåter¹¹⁶

¹¹⁵ Carbon Limits, 2023

¹¹⁶ Carbon Limits, 2023

Norge har i dag ikke et etablert transportnettverk for CO₂. Det finnes bare én 153 km lang CO₂ rørledning som transporterer CO₂ fra LNG-prosesseringsanlegg til et offshore injeksjonssted ved Snøhvit gassfelt. Rørledningens plassering er vist i Figur 20.

Transport av både CO₂ og biomasse (spesielt våt) anses som en betydelig utfordring i Norge på grunn av landets størrelse, små veier og avstanden mellom de ulike kildene til CO₂ og biomasse.

Til tross for det begrensede transportnettverket for CO₂ i dag, har Norge et betydelig vekstpotensial på dette området.

De fleste av de planlagte CCS-prosjektene i Norge bygger sin infrastruktur fra grunnen av. I noen tilfeller, avhengig av prosjektspesifikasjonen, vil det være mulig å gjenbruke eksisterende olje- og gassinfrastruktur til CO₂ transport. Eksisterende transportnettverk kan også integreres i CCS-knutepunkter, som kan fungere som inngangs- og utgangspunkter for CO₂ transport. Knutepunktene kan fungere som sentrale punkter for styring og optimalisering av CO₂ logistikk, inkludert følgende aspekter:

Veinettet. Norge har et omfattende veinett som forbinder ulike deler av landet med nabolandene Sverige og Finland. Disse veiene kan fungere som transportruter for fanget CO₂. Tankbiler eller andre spesialkjøretøy kan transportere CO₂ fra industrielle fangstanlegg til CCS-knutepunkter eller annen spesialbygd infrastruktur. Hvis det nye CO₂ transportprosjektet øker belastningen på det eksisterende veinettet betydelig, kan det være nødvendig å bygge en dedikert vei utelukkende for dette prosjektet.



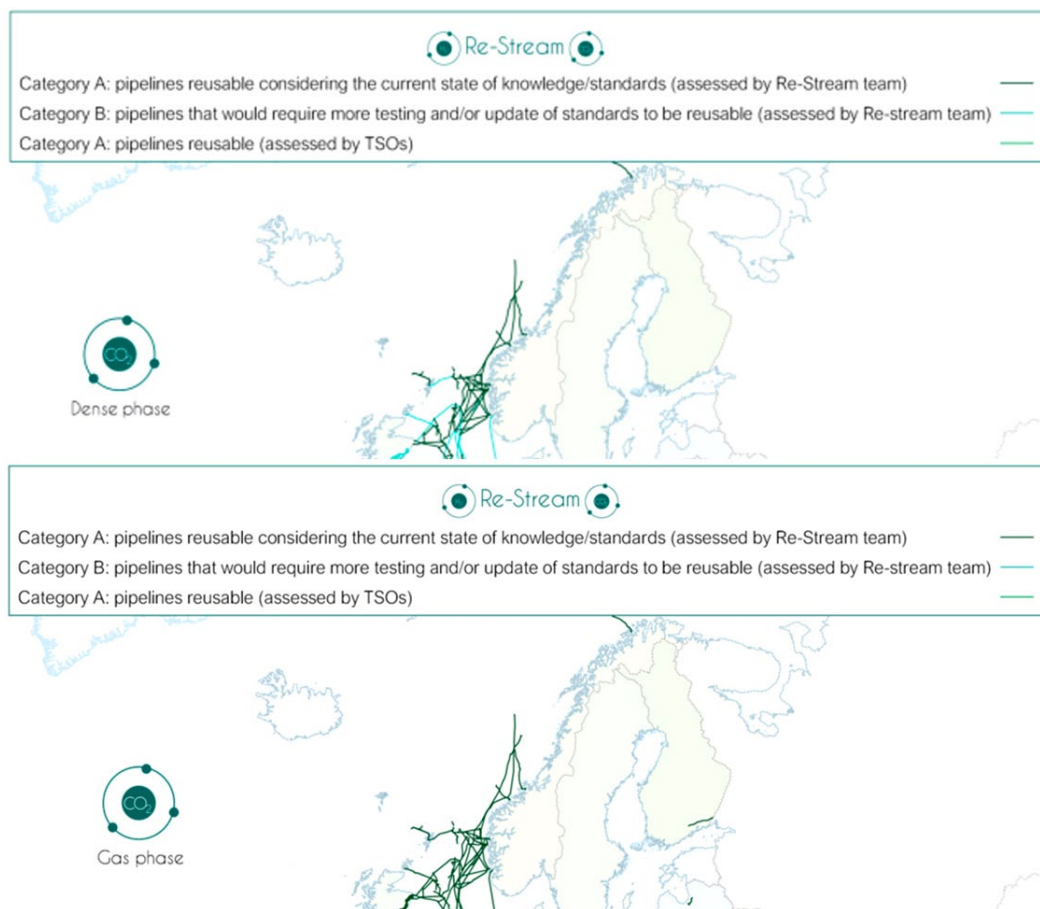
Figur 20: Kart som viser plasseringen av Snøhvitfeltet, CO₂-rørledningen og Melkøya-terminalen.

Jernbanenettverk. Jernbanetransport kan være egnet for større mengder CO₂ og for å knytte avsidesliggende industrianlegg til knutepunktene. Det er imidlertid viktig å merke seg at kapasiteten på jernbaneinfrastrukturen er begrenset, og at det er både dyrt og tidkrevende å bygge den ut.

CO₂-frakt. Norges langstrakte kystlinje gir muligheter for sjøtransport av CO₂. Det gir også gode muligheter for å etablere flere CCS-knutepunkter med skip som transportmetode. Kystfart og nærskipfart kan brukes til å transportere CO₂ til og fra industrianlegg, lagringsknutepunkter eller internasjonal eksport.

Rørledningsinfrastruktur. I noen tilfeller er det mulig å gjenbruke eksisterende rørledninger for CO₂ transport. I Re-stream-studien fra 2021¹¹⁷ undersøkte Carbon Limits muligheten for å gjenbruke eksisterende olje- og gassinfrastruktur i Europa til CO₂ transport. Som vist i Figur 21 konkluderte studien med at majoriteten av rørledningene i Norge kan gjenbrukes for CO₂.

¹¹⁷ Carbon Limits and DNV. (2021). *Re-Stream: Study on the reuse of oil and gas infrastructure for hydrogen and CCS in Europe*. https://uploads-ssl.webflow.com/63e3b74820155d49e193aa74/647b4d4a9c693564252a112d_Re-stream-Report.pdf



Figur 21: Gjenbruk av olje- og gassrørledninger for transport av CO₂ i tett fase og gassfase¹¹⁸

Norge har et betydelig potensial for utvikling av CO₂ transport. Landet legger vekt på å utvikle CCS-knutepunkter som fungerer som sentrale oppsamlings- og distribusjonspunkter, som strategisk knytter sammen ulike transportformer og tar høyde for økt kapasitet og nye kilder til CO₂ utslipp. I tillegg byr eksisterende transportnettverk i Norge på verdifulle muligheter for omlegging og optimalisering av CO₂ transport.

2.8. CO₂ lagring i trevirke

Et annet alternativ for lagring av CO₂ er lagring i trevirke. I tillegg til å utgjøre et naturlig økosystem er skogen et viktig karbonsluk ved at den filtrerer CO₂ ut av luften og absorberer dette i treets biomasse som biogent karbon. Bærekraftig bruk av trevirke i holdbare produkter reduserer økningen av CO₂ i atmosfæren.

Norge har store skogsområder, og tømmer er det viktigste råstoffet for den skogbaserte industrien. Rundt halvparten av tømmeret som hogges, går til treindustrien, som produserer treprodukter til husbygging, limtrekonstruksjoner, dører, vinduskarmer og møbler.¹¹⁹

¹¹⁸ Carbon Limits, Re-stream study, 2022

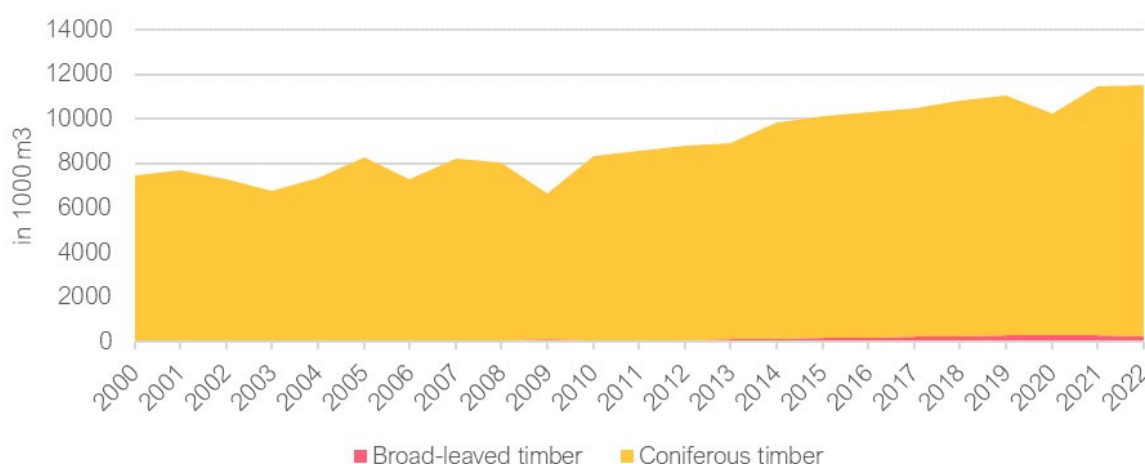
¹¹⁹ Regjeringen. (2001). *Business and industry in Norway – the timber and pulp and paper industry*.

www.regjeringen.no/en/dokumenter/Business-and-industry-in-Norway---The-timber-and-pulp-and-paper-i8787ndustry/id419353/

Etterspørselen etter trevirke i byggebransjen i Norge forventes å øke, drevet av flere viktige trender og faktorer:

- Bærekraftshensyn vil i stor grad påvirke etterspørselen etter trevirke. Etter hvert som land og industrier forsøker å redusere karbonutslippene og innføre mer bærekraftige byggemetoder, vil trelastens rolle som et fornybart og karbonseparerende materiale sannsynligvis bli større.
- Treets evne til å binde karbon gjør det til et attraktivt valg for karbonnøytralt byggeri. Etter hvert som målene for karbonreduksjon blir mer ambisiøse, vil trevirke i økende grad bli foretrukket i byggeprosjekter som tar sikte på netto nullutslipp.
- Stadige fremskritt innen treteknikk og utvikling av konstruerte treprodukter utvider mulighetene for bruk av tre i bygg og anlegg.
- Treets naturlige isolasjonsegenskaper vil fortsette å gjøre det til et foretrukket valg for energieffektive bygninger.

Figur 22 viser hvordan uttaket av rundvirke har økt de siste 20 årene, med en betydelig vekst de siste ti årene. På grunn av de tidligere nevnte trendene forventes etterspørselen etter konstruksjonsvirke å øke ytterligere i årene fremover.



Figur 22: Kommersiell avvirkning av rundvirke (i 1,000 m³), etter tregruppe¹²⁰

I 2022 utgjorde produksjonen av tømmer 11.5 millioner kubikkmeter, hvorav størstedelen kom fra bartrær, noe som tilsvarer ca. 6.6 millioner tonn tømmer. Norske myndigheter har ikke offentliggjort noen offentlig tilgjengelige prognoser for tømmerproduksjonen i de kommende årene. På grunn av fraværet av offisielle prognoser og begrensningene i dagens data er det utfordrende å lage pålitelige estimater for tømmerproduksjonen i 2050.

2.9. Verneområder i Norge

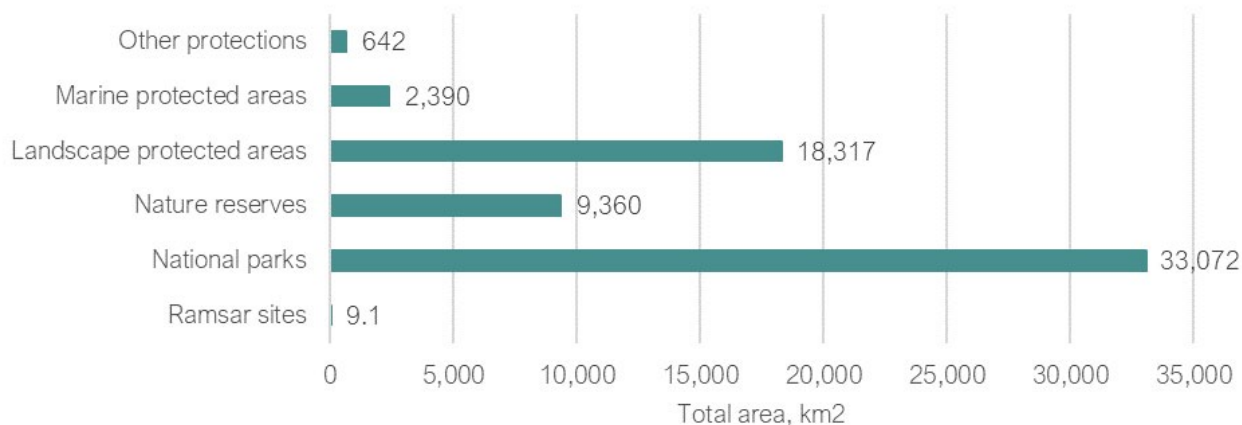
Verneområder på det norske fastlandet kan generelt deles inn i tre kategorier: naturområder, bebygd land og kulturlandskap. Naturområder omfatter miljømessig viktige områder som nasjonalparker, naturreservater, Ramsar-områder (våtmarksområder som er utpekt til å være av internasjonal betydning i henhold til Ramsar-konvensjonen) og andre vernede områder på land eller i Norges territorialfarvann. Størrelsen på disse vernede naturområdene på det norske fastlandet er oppsummert i Figur 23 hvor nasjonalparker og landskapsvernområder utgjør den største andelen.^{121,122} Figur 24 viser utbredelsen av nasjonalparker (grønn skravering), naturreservater (rød skravering) og Ramsar-områder (blå skravering) på det norske fastlandet. På Svalbard og Jan Mayen dekker naturområder det meste av landoverflaten og territorialfarvannet: 68.2% av Svalbards landareal og 87.7% av havområdene er vernet. På Jan Mayen er disse prosentandelene enda høyere: Her er 99.5% av landområdene og 100% av havområdene vernet.¹²³ Som nevnt i kapittel 3.2 har enkelte vannforekomster ytterligere miljøbeskyttelse utover grunnleggende standarder for beskyttelse og restaurering av vannforekomster. Et kart som viser disse beskyttede områdene, er presentert i Figur 24.

¹²⁰ Statistisk Sentralbyrå. (2022). Commercial roundwood removals. www.ssb.no/en/statbank/table/08979/tableViewLayout/

¹²¹ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2023). Protected areas. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/areal/statistikk/vernede-omrader

¹²² Convention on Wetlands Secretariat. (2023). Norway. www.ramsar.org/country-profile/norway

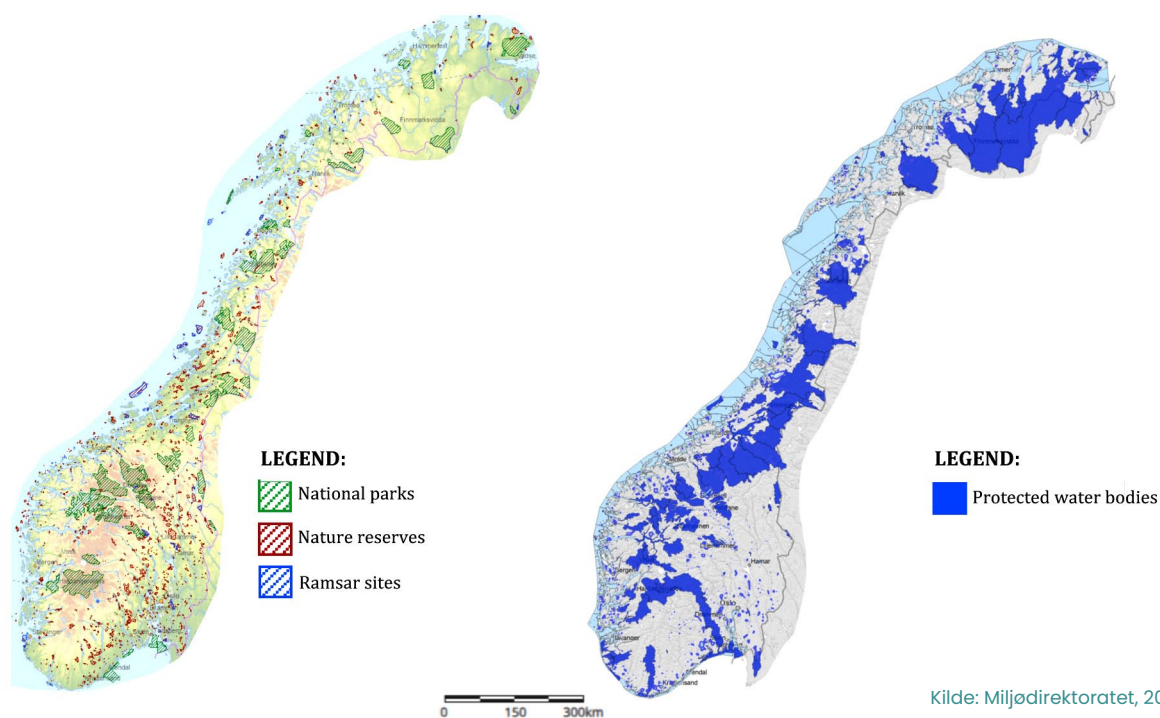
¹²³ Miljødirektoratet. (2023). Vernet Natur. <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/naturomrader-pa-land/vernet-natur/>



Figur 23: Vernede områder i Fastlands-Norge¹²⁴

Noen landskap tilhører mer enn én kategori, så det totale vernede naturområdet er mindre enn summen av verdiene i figuren: ca. 17.6 % (57,000 km²) av fastlandsarealet og 4.5 % av havområdene er vernede naturområder. De fleste av de vernede naturområdene i Norge er fjellområder, og fjellene representerer også det mest vernede miljøet.

Bebygde områder i Norge utgjør også en begrensning for arealbruken. Bare 1.8 % (5,694 km²) av Norges arealer regnes som bebyggt, og de fleste av disse områdene er boligområder eller områder som brukes til teknisk infrastruktur. Kulturminneloven ble skrevet inn i norsk lov i 1978. Loven hadde til hensikt å bevare og beskytte viktige arkeologiske, arkitektoniske og kulturelle områder.¹²⁵ Disse områdene omfatter også en "sikkerhetssone" rundt den ytterste delen, for å gi en ekstra beskyttende buffer.



Kilde: Miljødirektoratet, 2017

Figur 24: (Venstre) Nasjonalparker (grønn skravering), naturreservater (rød skravering) og Ramsar-områder (blå skravering) på det norske fastlandet. (Høyre) Vernede vannforekomster i Norge.

¹²⁴ Carbon Limits assessment using information from Statistisk sentralbyrå; and Convention on Wetlands Secretariat

¹²⁵ Klima- og miljødepartementet (Ministry of Climate and Environment). (1978). Cultural Heritage Act. www.regjeringen.no/en/dokumenter/cultural-heritage-act/id173106/

Omfanget av offisielt vernede naturområder i Norge har ikke økt betydelig siden 2011, og det er heller ikke forventet at det vil gjøre det i fremtiden. Klima- og miljødepartementet antydte i en rapport fra 2015 at det hovedsakelig vil være skog- og havområder som blir i fokus for begrenset ytterligere vern.^{126,127} Regjeringen har til hensikt å verne 30% av havområdene og doble andelen vernede skogområder til 10%.²⁶⁹ Det siste målet er imidlertid vanskeligere å oppnå på grunn av de småskala eierforholdene i skogsområdene (88% av skogsarealet er privat eid). Til tross for begrensede planer om å utvide de offisielt utpekte verneområdene, vil omfanget av bebyggt land sannsynligvis øke i takt med urbanisering og befolkningsvekst.

I analysen av tilgjengelige landressurser ble alle vannforekomster, våtmarker, bebygde områder, foreslåtte verneområder, skoger og dyrkbar mark (beitemark) fjernet fra listen over potensielle landområder for CDR implementering. Til tross for at dette betydelige landområdet er fjernet, kan over 121,731 km² være tilgjengelig for utnyttelse av ulike CDR-metoder.

I neste kapittel ser vi nærmere på norsk klimapolitikk og virkemidler som kan påvirke implementeringen av CDR i landet. Deretter utforsker vi det teoretiske potensialet for ulike CDR-metoder i Norge.



© Echo - Unsplash

¹²⁶ Miljødirektoratet. (2022). Naturområder på land. <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/naturomrader-pa-land/>

¹²⁷ Klima- og miljødepartementet (Ministry of Climate and Environment). (2015). *Nature for life: Norway's national biodiversity action plan*. www.regjeringen.no/contentassets/902deab2906342dd823906d06ed05db2/en-gb/pdfs/stm201520160014000engpdfs.pdf

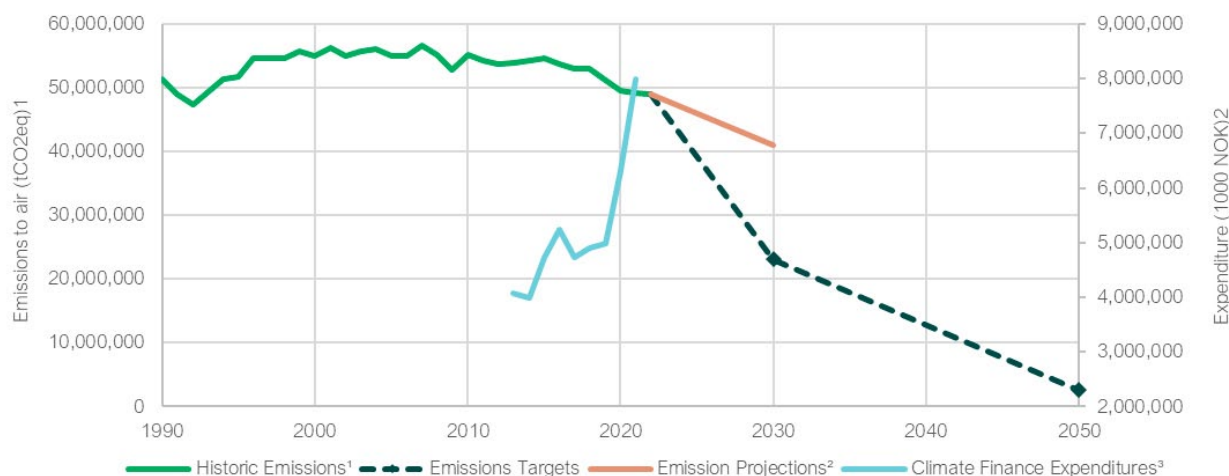
3. Eksisterende rammeverk og virkemidler

Ulike klimatiltak og virkemidler, allerede iverksatt eller planlagt for fremtiden, kan enten legge til rette for eller hindre en effektiv oppskalering av karbonfjerning. Slike tiltak og virkemidler kan observeres på nesten alle styringsnivåer, fra nasjonalt til europeisk og internasjonalt nivå. De følgende kapitlene gir en oversikt over de viktigste rammeverk og en vurdering av deres potensielle innvirkning på en dedikert utrulling av CDR i Norge.

3.1 CDR innenfor Norges klimastrategi

I henhold til klimaloven¹²⁸ har Norge som mål å bli et lavutslippssamfunn innen 2050. Dette målet innebærer en utslippsreduksjon på 90–95% sammenlignet med 1990. Norge har imidlertid ikke forpliktet seg til et klart netto nullutslippsmål eller et netto negativt mål i sitt innenrikspolitiske rammeverk. Landet har heller ikke spesifisert om noen av klimamålene skal nås ved hjelp av karbonfjerning. Videre bør det bemerkes at en del av Norges karbonhåndteringsstrategi fokuserer på karbonfangst og -lagring (CCS) som en sentral teknologi for å realisere utslippsreduksjoner, men ikke CDR i seg selv.

Figur 25 viser de historiske utslippene i Norge, samt fremtidige mål for utslippsreduksjoner og utslippsprognoser basert på eksisterende klimapolitikk. Figuren illustrerer en økning i utslippene mellom 1990 og 1996 til ca. 55 Mt CO₂ ekvivalenter, hvor de holdt seg relativt stabile de neste to tiårene. På den andre aksen viser figuren hvordan de offentlige klimarelaterte utgiftene nesten har doblet seg fra 4,1 milliarder kroner i 2013 til 8 milliarder kroner i 2021. I løpet av denne perioden har Norges utslipp falt fra 54 Mt CO₂ ekvivalenter til 49 Mt CO₂ ekvivalenter, noe som tilsvarer en utslippsreduksjon på ca. 5% sammenlignet med 1990-nivået. Dagens prognoser anslår at Norge med dagens nasjonale klimapolitikk kun vil oppnå en utslippsreduksjon på 20% innen 2030, i motsetning til det nasjonale målet på 55 %.



¹ CO₂ ekvivalenter i henhold til AR5, IPCCs femte hovedrapport. Inkluderer ikke utslipp fra sjøtransport og internasjonal lufttransport eller LULUCF. Kilde: SSB (www.ssb.no/en/statbank/table/13931).

² Utslippene i 2030 er anslått basert på eksisterende norsk klimapolitikk som ble sendt inn til Det europeiske miljøbyrået i 2021. Kilde: SSB: (<https://climateactiontracker.org/countries/norway/targets>).

³ Inkluderer utgifter til beskyttelse av luft og klima i offentlig forvaltning under: kjøp av varer og tjenester, lønnskostnader, kapitalslit, miljøverninvesteringer, overføringer til utlandet, andre overføringer og subsidier. Kilde: SSB (www.ssb.no/en/statbank/table/12456/tableViewLayout1).

Figur 25: Historiske utslipp i Norge, mål for utslippsreduksjoner og utslippsprognoser basert på eksisterende klimapolitikk

¹²⁸ Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2018). *Act relating to Norway's climate targets (Climate Change Act)*. <https://lovdata.no/dokument/NLE/lov/2017-06-16-60>

I juni 2023 offentliggjorde Miljødirektoratet en analyse av reduksjonspotensialet for 85 ulike tiltak.¹²⁹ I rapporten påpekes det at noen tiltak (f.eks. å endre folks spise- og matavfallsvaner eller utfasing av diesel-/bensinbiler) vil ta tid å gjennomføre fullt ut. Det er ikke sikkert at det er mulig å oppnå en betydelig effekt med slike langsiktige tilnærminger i løpet av de neste seks årene. I mellomtiden fastslår rapporten at elektrifisering og karbonfangst og -lagring har størst potensial for å redusere utslippene i landet, og peker på behovet for tilhørende infrastruktur som strømmett og ladeinfrastruktur eller infrastruktur for transport og lagring av CO₂. For å minimere tiden det tar å realisere effektene av klimarelaterte utgifter, kan Norge forsøke å redusere implementeringstiden ved å effektivisere konsesjonsprosessen for nye kraftprosjekter. Lisensiering av CCS-prosjekter kan sannsynligvis dra nytte av lignende tilretteleggingstiltak.

I oktober 2023 publiserte den norske regjeringen klimastatus og -plan¹³⁰, som skisserer forsterkede tiltak som skal bidra til at Norge når sitt mål om utslippsreduksjoner i 2030. Ifølge klimaplanen vil de nye tiltakene i ikke-kvotepliktig sektor i Norge gjøre det mulig for landet å holde seg innenfor utslippsbudsjettet for perioden 2026–2030. Samtidig understreker planen at det er betydelig usikkerhet knyttet til framtidige utslippsprognoser og effekten av klimapolitikken.¹³¹

Norges klimapolitikk innebærer tverrsektoriell koordinering mellom offentlige etater, departementer og lokale myndigheter. Tabell 10 gir en oversikt over ulike institusjoner og deres ansvarsområder innenfor norsk klimapolitikk.

Institusjon	Ansvarsområder
Stortinget	• Bestemmer den overordnede nasjonale klimapolitikken
Den norske regjeringen	• Administrasjon og implementering av direkte reguleringer og økonomiske mekanismer
Klima- og miljødepartementet	• Koordinering og gjennomføring av klimapolitikken i Norge, tverrsektorielt ansvar • Drift av det norske programmet for anskaffelse av karbonkreditter
Finansdepartementet	• Ansvarlig for ulike skatteordninger
Andre departementer	• Administrasjon og implementering av politikk i sine respektive sektorer
Lokale myndigheter	• Gjennomføring av politikk og tiltak på lokalt nivå (f.eks. avfallshåndtering)
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (et direktorat under Olje- og energidepartementet)	• Ansvarlig for en integrert og miljømessig forsvarlig forvaltning av landets vannressurser • Fremme av effektive energimarkeder og kostnadseffektive energisystemer og energibruk

Tabell 10: Norske institusjoner og deres ansvarsområder innenfor norsk klimapolitikk

Boks 1: Tverrsektoriell koordinering i norsk klimapolitikk

¹²⁹ Miljødirektoratet. (2023). Klimatiltak i Norge mot 2030: Oppdatert kunnskapsgrunnlag om utslippsreduksjonspotensial, barrierer og mulige virkemidler – 2023. www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/juni-2023/klimatiltak-i-norge-mot-2030/

¹³⁰ Regjeringen. (2023). Statsbudsjettet 2024: Norge skal nå klimamålene. www.regjeringen.no/no/aktuelt/norge-skal-na-klimamalene/id2996215/

¹³¹ Regjeringen. (2023). Regjeringas klimastatus og -plan. www.regjeringen.no/no/dokumenter/regjeringas-klimastatus-og-plan/id2997247/?ch=1

De følgende underkapitlene gir en oversikt over eksisterende og planlagte virkemidler og regulatoriske rammeverk i Norge som er relevante for ulike grupper av CDR-metoder.

3.2. Sektorovergripende virkemidler, insentiver og støttemekanismer

Norsk klimapolitikk baserer seg først og fremst på CO₂ avgifter og handel med utslippskvoter.¹³² Å sette en pris på klimagassutslipp kan ikke bare gi insentiver til å redusere utslippene, men også til å investere i forskning og utvikling for å legge til rette for fremtidige strategier for utslippsreduksjon. Selv om CO₂-avgifter ikke gjelder for biogen CO₂, kan de føre til nødvendige investeringer i utvikling og markedsføring av teknologier og prosjekter som er relevante for ulike CDR-metoder. Norge har for eksempel en CO₂-avgift på mineralolje, bensin og utslipp fra petroleumsutvinning på kontinentalsokkelen, på naturgass og flytende petroleumsgass (LPG), samtidig som det gis fritak for anlegg som benytter CCS. Dette har allerede gitt insentiver til CCS-prosjekter som Sleipner og Snøhvit, og kan gi insentiver til ytterligere investeringer i CCS-teknologier – ettersom forpliktete anlegg får refundert CO₂-avgiften de har betalt på sine fossile produkter, tilsvarende den mengden CO₂ som fanges og lagres.¹³³ Dette kan ha en spillover-effekt på CDR-metodene knyttet til CCS (Bio-CCS og DACCS) i form av videre utvikling og reduserte kostnader knyttet til CO₂ fangst- og lagringsteknologier, etablering av CCS-klynger og videre utvikling av CO₂ lagringssteder.

Et annet eksempel er den norske avfallsforbrenningsavgiften, som gjelder for den fossile delen av CO₂ som slippes ut fra forbrenningsanlegg. CO₂ som fanges og lagres, er fritatt fra avgifte¹³⁴, noe som kan ha en positiv spillover-effekt på karbonfjerning, siden en del av CO₂ som slippes ut fra forbrenningsanlegg i Norge, kommer fra biogene kilder.

FoU og innovasjon

Fullskalaprojekter har mulighet til å søke støtte fra Enova, et statseid foretak under Klima- og miljødepartementet, som gir økonomisk støtte og veiledning til klima- og energiprojekter til aktører som bedrifter, husholdninger og lokale myndigheter. Disse prosjektene finansieres av Klima- og energifondet.¹³⁵ Denne finansieringsmekanismen fokuserer imidlertid primært på teknologiutvikling i sen utviklingsfase og tidlig demonstrasjon, noe som kan føre til at kommersielt umodne teknologier med høye kostnader blir stående uten tilstrekkelig støtte.

3.3. Regulatoriske rammeverk og støttemekanismer som er relevante for CCS-relaterte CDR-metoder

Per i dag finnes det ikke noe etablert regelverk for industriell karbonfangst (f.eks. DACCS eller Bio-CCS) i Norge. Det finnes imidlertid flere regulatoriske og økonomiske virkemidler som har som mål å legge til rette for utvikling og bruk av CCS-teknologier, noe som vil ha en indirekte effekt på disse CDR-metodene.

Som nevnt ovenfor spiller CCS en viktig rolle i Norges klimastrategi. I Norges nasjonale klimamelding (8. utgave) er CCS identifisert som et av de fem viktigste satsingsområdene for å fremme Norges nasjonale klimainnsats, og regjeringens CCS-strategi omfatter en rekke aktiviteter som spenner fra forsknings-, utviklings- og demonstrasjonsprosjekter til storskala tiltak.

I 2019 bidro Norge, sammen med Nederland, til gjennomføringen av endringer i London-protokollen for å tillate transport av CO₂ på tvers av landegrensene, og fjernet dermed en av de viktigste hindringene for utviklingen av CCS i Europa.¹³⁶ Protokollen tar sikte på å kontrollere havforurensning ved dumping av avfall til sjøs, og dermed eksport av CO₂ avfall eller annet materiale til et annet land for permanent lagring til havs. Selv om protokollen ble endret av avtalepartene for å tillate grensekryssende transport av CO₂ for lagring under havbunnen, har den ennå ikke blitt ratifisert av nok parter til at endringen kan tre i kraft. I 2019 ble avtalepartene enige om en midlertidig anvendelse av denne endringen gjennom bilaterale avtaler mellom landene. I april 2023 innledet Norge og Belgia forhandlinger om å etablere en bilateral avtale om grensekryssende transport og lagring av CO₂, innenfor rammen av London-protokollen.¹³⁷

¹³² Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2023). Norway's Eighth National Communication.

www.regjeringen.no/contentassets/a69c7662e3ed4b1fa2f946f8e966343a/en-gb/pdfs/t-1582-e-norways-eighth-national-communication.pdf

¹³³ Skatteetaten. (n.d.). Mineral product tax. <http://tiny.cc/p899yz>

¹³⁴ Skatteetaten. (n.d.). Avgift på forbrenning av avfall. www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/avfallsforbrenning

¹³⁵ Enova. (n.d.). Enova. www.enova.no

¹³⁶ IEA. (2020). CCUS in Clean Energy Transitions. A new era for CCUS. www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions/a-new-era-for-ccus

¹³⁷ Regjeringen. (2023). Belgium and Norway will work closer on cross-border transport and storage of CO₂. <http://tiny.cc/ef99yz>

Norge er hjemsted for verdens største anlegg for testing, verifisering og demonstrasjon av ulike teknologier for CO₂-fangst i industriell skala. Teknologisenter Mongstad (TCM) ble etablert i 2012, og eies av den norske stat, Equinor (tidligere Statoil), Shell og TotalEnergies.¹³⁸ TCMs eksperter nyter stor anerkjennelse i det internasjonale CCS-miljøet, og til sammen er det investert rundt 6 milliarder kroner i bygging og videreutvikling av anlegget.

Demonstrasjonsprosjekter

Et omfattende demonstrasjonsprosjekt for CO₂-fangst og -lagring, kalt "Langskip", er for tiden under utvikling i Norge.¹³⁹ Langskip består av to norske CO₂-fangstanlegg, ett ved et avfallsforbrenningsanlegg (Hafslund Oslo Celsio¹⁴⁰) og ett ved en sementfabrikk (Norcem Brevik), samt et CO₂-transport- og lagringsprosjekt "Northern Lights"¹⁴² – et joint venture mellom Equinor, Shell og TotalEnergies. Den fangede CO₂ vil bli lagret på et lager på norsk kontinentalsokkel. Langskip CCS-prosjektet har mottatt 80% investeringsstøtte og 95% støtte til driftskostnader fra den norske stat. Prosjektet forventes å starte driften i 2024, med fangst og lagring av 1.5 Mt CO₂ per år i prosjektets første fase, og planlegger deretter å utvide til fangst og lagring av opptil 5 Mt CO₂ per år.

Ved Norcems sementfabrikk er målet å fange ca. 0.4 MtCO₂ per år. Dette vil utgjøre omtrent halvparten av de totale CO₂-utslippene fra anlegget, og ca. 10% av den fangede CO₂ kommer fra biogene kilder. Hafslund Oslo Celsio har som mål å fange 90% av utslippene fra avfallsforbrenningsanlegget, noe som også vil utgjøre ca. 0.4 Mt CO₂ per år. Omtrent 50% av disse utslippene vil være bio-CO₂.¹⁴³ I tillegg er det utlyst nye letetillatelser for lagring av CO₂ (se Figur 18 og Tabell 8).

FoU og innovasjon

I Norge kan FoU-aktiviteter innen CCS finansieres gjennom eksisterende nasjonale rammeverk for forskning og innovasjon. Prosjekter kan søke støtte fra programmer som CLIMIT-programmet¹⁴⁴ og Norges forskningsråd.¹⁴⁵ CLIMIT-programmet er et nasjonalt initiativ som fokuserer på forskning, utvikling og demonstrasjon av teknologier knyttet til CCS, og gir støtte til et bredt spekter av prosjekter på tvers av ulike stadier i CCS-utviklingskjeden. I tillegg til CLIMIT-programmet har Norge etablert flere forskningssentre, blant annet Norsk CCS-forskningssenter (NCCS), som dekker ulike aspekter av CCS-teknologi, inkludert fangstmetoder, transport og geologisk lagring av CO₂. Disse sentrene drives med samfinansiering fra flere kilder, blant annet Norges forskningsråd, industripartnere og forskningssamarbeidspartnere.

I horisonten

Med tanke på den betydelige usikkerheten i kostnadsestimatene for CCS-baserte CDR-prosjekter og den varierende graden av risikoaksept blant interessentene, erkjenner Norge at det er viktig å sikre forutsigbarhet i finansieringsmekanismene for næringslivet. For å løse dette problemet undersøker Norge for tiden to mulige virkemidler for å støtte Bio-CCS og DACCS: en omvendt avgift og en omvendt auksjon.¹⁴⁶

Den omvendte avgiftsmekanismen er et rettighetsbasert system der virksomheter belønnes økonomisk for hvert tonn CO₂ de fjerner i løpet av en spesifisert periode. I denne sammenhengen kan staten innføre en negativ skatt, direkte knyttet til CO₂-skatten, som i hovedsak refunderer 2,000 NOK per tonn CO₂ fjernet (i 2020-valuta) i ti år. For å sikre at DACCS-prosjekter får tilstrekkelig støtte, er det foreslått å vurdere et høyere støttenivå for denne mer kostbare teknologien, slik USA har gjort, i tillegg til muligheten til å kombinere denne støtten med finansiering fra kilder som Innovasjonsfondet eller Enova, samt salg av karbonfjerningskreditter på det frivillige karbonmarkedet (VCM). Videre foreslås det at den omvendte avgiften kan motregnes mot støttemekanismer på EU-nivå, potensielt gjennom EUs kvotehandelssystem (ETS), noe som muliggjør koordinering med bredere europeiske tiltak.

¹³⁸ Technology Centre Mongstad. (n.d.). Technology Centre Mongstad. <https://tcmda.com>

¹³⁹ Gassnova. (2023). The Longship CCS Project. <https://ccsnorway.com/the-project>

¹⁴⁰ Hafslund Oslo Celsio. (n.d.). Hafslund Oslo Celsio. <https://celsio.no>

¹⁴¹ Heidelberg Materials. (n.d.). Brevik cement plant. https://www.sement.heidelbergmaterials.no/en/NorcemBrevik_eng

¹⁴² Northern Lights. (n.d.). Northern Lights. <https://norlights.com>

¹⁴³ NTB. (2020). CO₂-rensing: EU setter foten ned for bokføringsknep.

www.finansavisen.no/nyheter/politikk/2020/09/14/7566624/co2-rensing-eu-setter-foten-ned-for-bokforingsknep

¹⁴⁴ Gassnova. (2023). CLIMIT. <https://climit.no/en>

¹⁴⁵ Forskningsrådet. (2023). The Research Council of Norway. www.forskningsradet.no/en

¹⁴⁶ Miljødirektoratet. (2023). Industrien kan fjerne CO₂ med nye virkemidler.

www.miljodirektoratet.no/aktuelt/fagmeldinger/2023/mars-2023/industrien-kan-fjerne-co2-med-virkemidler

En omvendt auksjon er derimot en prosess der potensielle prosjektutviklere byr på støttefinansiering for å gjennomføre CCS- og CDR-prosjekter. Målet er å velge ut de prosjektene som kan levere mest mulig karbonfangst eller -fjerning til lavest mulig kostnad, noe som sikrer kostnadseffektivitet innenfor et spesifisert budsjett, samt gir forutsigbarhet når det gjelder antall tonn CDR som oppnås. Det er imidlertid noen ulemper med denne mekanismen som det må tas hensyn til. For eksempel kan auksjonenes konkurransepreg skape en følelse av at det haster for prosjektutviklere å legge inn bud, noe som kan skape problemer for prosjekter som krever en mer gradvis oppskaleringssprosess. I tillegg kan det å basere seg utelukkende på pris som kriterium i en enkelt auksjon være til ulempe for DACCS-prosjekter, noe som kan begrense deltakelsen av slike prosjekter. I likhet med den omvendte avgiften kan støtten oppnådd gjennom omvendt auksjon motregnes mot andre insentivmekanismer i EU.

3.4. Regulatoriske rammeverk og støttemekanismer som er relevante for andre CDR-metoder

Landbruk

I 2019 inngikk landbruksorganisasjonene i Norge (Norges Bondelag og Norsk Bonde- og Småbrukarlag) en frivillig avtale med regjeringen, der partene forpliktet seg til å samarbeide om å redusere klimagassutslippene med 5 Mt CO₂ i perioden 2021–2030 og øke karbonopptaket i landbrukssektoren.¹⁴⁷ Et av virkemidlene som skal bidra til å øke karbonopptaket, er et nasjonalt mål om å begrense omdisponeringen av jordbruksarealer til andre formål. Det nåværende målet er 300 hektar per år, noe som tilsvarer omtrent 0.03 % av det totale jordbruksarealet. Dette målet ble nådd allerede i 2021, men mer ambisiøse mål og strategier er under vurdering.

For å bidra til at Norge skal nå sine klimamål innen 2030 og målet om å bli et lavutslippssamfunn innen 2050, har den norske regjeringen opprettet en ny finansieringsmekanisme kalt "Bionova".¹⁴⁸ Bionovas hovedfokus er reduksjon av klimagassutslipp, innovasjon og verdiskaping innen bioøkonomien, særlig knyttet til jordbruk, skogbruk og havbruk. Dette inkluderer også å fremme økt opptak og karbonlagring på gårdsnivå.

I Norge kan alle bønder som gjennomfører ulike miljø- og klimatiltak på gårdsnivå, søke om økonomisk støtte gjennom de regionale miljøprogrammene i landbruket (RMP)¹⁴⁹ – en støttemekanisme som tar sikte på å løse miljøproblemer i ulike geografiske regioner i landet. Historisk sett har hovedfokus for RMP vært å fremme landbrukspraksis som reduserer miljøutfordringer som erosjon, avrenning og bevaring av kulturlandskap, blant annet. I løpet av de siste årene har imidlertid programmene blitt utvidet til å omfatte støtte til flere klimarelaterte tiltak. Fra 2022 tilbys det for eksempel støtte til bønder som bruker klimarådgivere på gården for å samarbeide om å utvikle en handlingsplan med en liste over potensielle tiltak for å redusere gårdens karbonfotavtrykk.¹⁵⁰ Fra 2023 er dessuten tiltak for å fremme jordhelse og karbonbinding i jorda inkludert separat som et av fokusområdene i RMP. Slike tiltak omfatter for eksempel spredning av biokull og planting av fangvekster.¹⁵¹

Historisk sett har det vært omfattende omdisponering av torvmarker til dyrkbar mark i Norge. I 2021 ble restriksjoner på nydyrking av torvmark innført, da torvmarker fungerer som viktige lager for organisk materiale, spesielt karbon. Forbudet mot nydyrking av torvmark ble primært begrunnet i hensynet til klimaet.

Skogbruk

Det primære lovverket som regulerer arealforvaltningen i områder utenfor vernede soner, er plan- og bygningsloven, som dekker omtrent 83% av landets areal.¹⁵² I henhold til loven er det kommunene som har ansvaret for den fysiske planleggingen, men det er staten som fastsetter forskrifter og retningslinjer for planleggingen. Disse retningslinjene for kommunene omfatter blant annet krav om å vedta "tiltak og retningslinjer for å redusere avskoging og øke karbonlageret i skog og andre landområder".

¹⁴⁷ Norges Bondelag. (2019). Inngår klimaavtale for jordbruket. www.bondelaget.no/bondelaget-mener/miljo-og-klima/klima/inngar-klimaavtale-for-jordbruket

¹⁴⁸ Innovasjon Norge. (2023). Bionova – tilskudd til bioøkonomi og klimatiltak. www.innovasjon Norge.no/tjeneste/bionova-tilskudd-til-bioekonomi-og-klimatiltak

¹⁴⁹ Landbruksdirektoratet. (2023). Regionalt miljøtilskudd i jordbruket (RMP).

www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/ordninger-for-jordbruk/regionalt-miljotilskudd-rmb

¹⁵⁰ Klimasmart Landbruk. (2023). Klimarådgivere i hvert fylke (fylkesinndeling fra 01.01.24). <https://klimasmartlandbruk.no/finn-klimaradgivere/category882.html>

¹⁵¹ Landbruksdirektoratet. (2023). Jord og jordhelse. www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/miljo-og-klima/jord-og-jordhelse

¹⁵² Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen. (2023). Tiltaksanalyse for skog- og arealbrukssektoren (LULUCF): Hvordan Norge kan redusere utslipp av klimagasser fra arealbruksendringer innen 2030.

www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2023/april-2023/tiltaksanalyse-for-skog-og-arealbrukssektoren

Skogpolitikken i Norge inkluderer et bredt spekter av tiltak som omfatter lovverk, skattepolitikk, økonomiske støttesystemer og forskningsinitiativer. Skogbruksloven,¹⁵³ som trådte i kraft i 2006, er en hjørnestein i disse tiltakene. Lovens hovedmål er blant annet å fremme en bærekraftig forvaltning av skogressursene for å fremme lokal og nasjonal økonomisk vekst, samtidig som man sikrer bevaring av biologisk mangfold, landskapsintegritet og muligheter for friluftsliv. Samtidig bidrar skogbruksloven også til å fremme CO₂-binding, blant annet ved å kreve at skogeiere skal forynge arealene sine innen tre år etter avvirkning.

I tillegg tilbyr Norge en rekke økonomiske støttemekanismer (subsider) for tiltak som genetisk forbedring og planteforedling (for å øke overlevelsesraten i skogen og øke veksten av trær) og gjødsling av skog.

I horisonten

I oktober 2022 la regjeringen frem en ny klimaplan med en rekke tiltak og retningslinjer som nå er under diskusjon og evaluering. Implementering av tiltak som øker karbonopptaket i skogsektoren ble identifisert som et av de viktigste målene, spesielt hvis slike tiltak og retningslinjer har potensial til å øke karbonopptaket betydelig og er relativt enkle å implementere. Det ble for eksempel foreslått at skogbruksloven oppdateres med nye krav som setter en terskelalder for hogst av trær.

I tillegg vurderes det for tiden en ny støtteordning for tilskudd til skogplanting på nye arealer i Norge. Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet arbeider med et forslag til en tilskuddsordning for å støtte dette tiltaket, sammen med tilhørende retningslinjer.

3.5. Internasjonale rammeverk og støttemekanismer som er relevante for Norge

I tråd med IPCCs taksonomi for klimatiltak kan virkemidlene på¹⁵⁴ grovt sett grupperes i ulike kategorier og utformes på ulike måter – fra en mer hierarkisk, ovenfra-og-ned-styring til tiltak nedenfra-og-opp. De virkemidlene som er mest relevante for Norge, beskrives nærmere i det følgende kapittelet.

Offentlige mål for reduksjon av klimagassutslipp

Nasjonale mål for reduksjon av klimagassutslipp er omfattet av nasjonalt fastsatte bidrag (NDC) og langsiktige utviklingsstrategier med lave klimagassutslipp (LT-LEDS).

Norges oppdaterte nasjonalt fastsatte bidrag (NDC), som ble sendt inn til UNFCCC i 2022 (og som skal implementeres sammen med Island og EU), representerer et fremskritt i forhold til den første innleveringen ved å sikte mot et mer ambisiøst mål for utslippsreduksjoner. Norge planlegger å redusere utslippene med minst 55% innen 2030, sammenlignet med 1990-nivået. Det er verdt å nevne at det oppdaterte målet ennå ikke er integrert i den norske klimaloven, som utgjør det juridiske rammeverket for norsk klimapolitikk og forsterker landets forpliktelse i henhold til Parisavtalen.

Når det gjelder rollen til karbonfjerning og -opptak, nevner den norske NDC-en kun skogens opptak, som har økt i løpet av det siste tiåret. Ifølge Norges nasjonale skogbruksplan kan det gjennomsnittlige opptaksvolumet fra skog utgjøre opptil 24 Mt CO₂ ekvivalenter per år (omtrent 50% av Norges CO₂ ekvivalenter utslipp fra økonomisk aktivitet i 2021¹⁵⁵) mellom 2021–2025.¹⁵⁶

Norges langsiktige strategi for utvikling med lave klimagassutslipp (LT-LEDS) for 2050, som også ble sendt inn til UNFCCC, peker i en lignende retning.¹⁵⁷ Selv om CDR nevnes i strategien, fremheves det hovedsakelig CDRs rolle i å oppnå netto nullutslipp på globalt nivå, slik det er beskrevet i IPCC-rapportene og deres utslippsbaner. Strategien konkretiserer norske tiltak for CO₂-fjerning primært i forbindelse med karbonopptak i skog. For øvrig er strategien relativt vag, med hovedvekt på utslippsreduserende tiltak.

¹⁵³ Regjeringen. (2005). Act relating to forestry (Forestry Act). <https://tinyurl.com/4fjwheeu>

¹⁵⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change. https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch13.html

¹⁵⁵ SSB. (2022). Emissions from Norwegian economic activity. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/miljoregnskap/statistikk/utslipp-fra-norsk-okonomisk-aktivitet

¹⁵⁶ Climate Action Tracker. (2022). Norway. <https://climateactiontracker.org/countries/norway/2022-06-29/policies-action>

¹⁵⁷ Norway. (2020). Norway's long-term low-emission strategy for 2050. <https://unfccc.int/documents/266947>

Regulatoriske mandater

Regulatory mandates can take various forms, ranging from emissions standards (e.g., for a specific maximum greenhouse gas emissions intensity in energy or industry) to sector agreements, including dedicated targets for mitigation volume or number of installations/plants.

Selv om Norge ikke er medlem av EU, er landet en del av Det europeiske økonomiske samarbeidsområdet (EØS) og følger EUs politikk og rammeverk. I 2019 inngikk Norge en klimaavtale med EU som legger grunnlaget for å redusere utslippene med minst 40% innen 2030 sammenlignet med 1990-nivået. Dette samarbeidet innebærer at Norge aktivt deltar i EUs klimarammeverk, inkludert kvotehandelssystemet (ETS), som Norge har vært en del av tidligere. Den nye avtalen omfatter også innsatsfordelingsforordningen (ESR) og forordningen om arealbruk, arealbruksendringer og skogbruk (LULUCF). LULUCF-forordningen fastsetter Norges forpliktelse til å oppnå netto nullutslipp fra sektoren i perioden 2021–2030, hvilket betyr at de totale utslippene ikke skal overstige mengden karbon som bindes. Denne forpliktelsen dekker ulike aspekter av arealbruk og skogbrukspraksis, inkludert avskogede områder, nyplantede skoger, forvaltede skoger, dyrket mark, beitemark og karbonlagring i treprodukter. Fra og med 2026 vil også vann og våtmarker bli inkludert i denne forpliktelsen.

Aktivitetsrettet støtte til forskning, design, utvikling og demonstrasjon (FUD&D)

Aktivitetsorienterte subsidier kan fremskynde forskning, design, utvikling og demonstrasjon av fjerningsmetoder, og er avgjørende for å forbedre teknologiens modenhet og etter hvert også få ned kostnadene forbundet med den.

Norge er tilknyttet Horisont Europa, EUs milliardrammeverk for forskning og innovasjon, og er kvalifisert til å motta dedikert finansiering gjennom ordningen.¹⁵⁸ Under Horisont Europas tre finansieringsområder er ulike utlysninger direkte og indirekte rettet mot CDR og gir betydelige tverrfaglige finansieringsmuligheter, som utgjør rundt 2.6 % av det totale Horisont-budsjettet for 2023–2024.¹⁵⁹ Mens den direkte finansieringen av CDR hovedsakelig fokuserer på Bio-CCS, geologisk karbonlagring og blå karbon-prosjekter, kan den indirekte finansieringen tilgjengelig under Horisont-programmet også spille en viktig rolle for CDR-aktiviteter, særlig støtte til generiske CCS-prosjekter. Dette kan inkludere felles lagringssteder og grenseoverskridende karboninfrastrukturprosjekter, samt utvikling av overvåkings-, rapporterings- og verifiseringsmetoder for å holde oversikt over hvor mye karbonutslipp som reduseres eller fjernes som følge av klimatiltak.

For å støtte en mer omfattende implementering av en felleseuropeisk CO₂-infrastruktur er EUs Connecting Europe Facility et annet virkemiddel som allerede har bidratt med finansiering til flere grenseoverskridende CO₂-nettverk, -knutepunkter og -klynger i Storbritannia og Norge.

Et av de overordnede målene for EUs innovasjonsfond er å finansiere pilotprosjekter på kildeområdet.¹⁶⁰ Med en ramme på rundt 40 milliarder euro frem til 2030 er det betydelige summer tilgjengelig for CCS- og CDR-prosjekter.¹⁶¹ Innovasjonsfondet fokuserer imidlertid mer på tidsbegrenset engangsstøtte til prosjekter som er de første i sitt slag, og det er derfor ikke lagt opp til langsiktig, bærekraftig finansiering.

Karbonprising

Karbonprisingsinstrumenter kan fungere som enda en finansieringsmulighet for å få fart på CDR-oppskaleringen på en effektiv måte, ved å sette en konkret pris på karbon.

Nesten 50% av utslippene i Norge er omfattet av EUs kvotesystem. I henhold til dette systemet er selskaper som driver med CCS-aktiviteter, fritatt fra kravet om å kjøpe utslippskvoter for den mengden CO₂ de har fanget og lagret. Denne bestemmelsen fungerer som et insentiv for selskaper til å investere i CCS-teknologi, og oppmuntrer til reduksjon av CO₂-utslipp gjennom fangst og lagring for å unngå kostnadene ved utslippskvoter.¹⁶²

¹⁵⁸ Directorate-General for Research and Innovation. (2021). *Iceland and Norway are the first countries associated to Horizon Europe*. <http://tiny.cc/x9e9yz>

¹⁵⁹ Carbon Gap. (n.d.). *Horizon Europe*. <https://tracker.carbongap.org/policy/horizon-europe/>

¹⁶⁰ Directorate-General for Climate Action. (n.d.). *Innovation Fund*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund_en

¹⁶¹ European Commission. (2023). *EU Innovation Fund and Certification of Carbon Removals*. www.cewep.eu/wp-content/uploads/2023/06/2.3-Christian-Holzleitner.pdf

¹⁶² European Commission. (n.d.). *Carbon capture, use and storage*. <http://tiny.cc/ebe9yz>

For å nå målet om 55% utslippsreduksjon innen 2030 har Norge signalisert at landet, om nødvendig, vil benytte seg av frivillig samarbeid under Parisavtalens artikkel 6 for å oppfylle den delen som går utover det som oppnås gjennom klimasamarbeidet med EU.¹⁶³ Denne formuleringen indikerer at Norge kan forventes å være en kjøper snarere enn en selger av karbonkreditter, potensielt inkludert karbonfjerningskreditter.

I horisonten

Det er to store initiativer i den klimapolitiske horisonten som potensielt kan bli relevante for Norges CDR-utvikling. Disse er (1) reformer av EUs kvotesystem for å inkludere avfallssektoren og negative utslipp, og (2) EUs rammeverk for sertifisering av karbonfjerning (CRCF).

a) Reformer av EUs kvotesystem

EU beskriver kvotesystemet som det "viktigste insentivet" for implementering av CCS.¹⁶⁴ Likevel gir ikke de nåværende bestemmelsene og prisnivåene i EUs kvotesystem tilstrekkelige insentiver for berørte selskaper til å engasjere seg i CCUS- og CDR-aktiviteter. Det er flere utfordringer og mangler knyttet til den nåværende utformingen av EUs kvotesystem, med tanke på at det bør bli et meningsfylt virkemiddel for en bredere og raskere utrulling av CCUS og CDR. For øyeblikket er en reform av EU ETS¹⁶⁵ på vei, og noen av endringene tar for seg slike mangler. Andre, mer omfattende reformer er under diskusjon.

I henhold til EU ETS-direktivet har transport av CO₂ gjennom nye rørledninger tidligere vært den eneste CCS-komponenten som har vært ansett som kvalifisert for fritak fra plikten til å kjøpe kvoter. Reformen av EU ETS tar imidlertid sikte på å utvide dette til å omfatte andre transportmåter (f.eks. skip, jernbane eller lastebil). Inkluderingen av disse transportmåtene for CO₂ forventes å åpne opp for nye muligheter for CCS-aktiviteter blant enheter som er omfattet i dag. Dette kan bli spesielt viktig for Norge, som er ledende i Europa når det gjelder lagringskapasitet for CO₂ og derfor er i en god posisjon til å dra nytte av økte CCS-aktiviteter (og potensielt CDR-metoder som baserer seg på geologisk lagring) som følge av ETS-reformen. I tillegg kan Norge utnytte sin olje- og gassrelaterte infrastruktur til å muliggjøre transport av CO₂ for lagring i varige lager og langtidslagring av CO₂ i produkter (f.eks. byggematerialer), noe det også legges opp til i det siste forslaget til ETS-reform.

For å gi ytterligere insentiver til karbonfangst,¹⁶⁶ er det imidlertid tilrådelig å utvide sektoromfanget innenfor selve kvotesystemet. Innen 2026 har EU som mål å integrere den fossile utslippsandelen fra avfallsforbrenningsanlegg i EUs kvotesystem (utslippsreduksjon). I tillegg kan biogene utslipp fra avfallsforbrenningsanlegg og andre anlegg som behandler biomasse, samt DAC-anlegg, etter hvert bli integrert i EUs kvotesystem (karbonfjerning) – selv om dette vil kreve ytterligere endringer i regelverket. Et slikt grep kan for eksempel gjøre det mulig for de aktuelle enhetene å motta gratiskvoter i fremtiden, som deretter kan selges til andre aktører innenfor systemet. Hvis ETS utvides til også å omfatte avfallssektoren, vil fangst og lagring av både biogen og fossil CO₂ fra avfallsforbrenning bli stimulert gjennom etablering av et etterspørselssignal og en forutsigbar inntektsstrøm. I så fall må EU sørge for at ETS-insentivet for Bio-CCS er i tråd med innsatsfordelingsforordningen (ESR), slik at utslippene fra biomasse ikke telles dobbelt. Ettersom etterspørselen etter biomasse sannsynligvis kommer til å øke i fremtiden, er det viktig å bruke taksonomier og robuste kriterier for å skille mellom bærekraftig og ikke-bærekraftig biomasse og biogent avfall, noe som vil gi et klart skille mellom karbonfjerning og utslippsreduksjoner (gitt at begge kan realiseres med Bio-CCS).

Med utvidelsen av deknningen til nye sektorer og inkluderingen av biomasseforedlingsanlegg har ETS et betydelig potensial for å skape et langsiktig insentiv for CCS- og CDR-aktiviteter. Et slikt etterspørselsdrevet insentiv er viktig, og vil være et supplement til de mange tilbudsorienterte og ofte subsidiedrevne (kortsiktige) virkemidlene som vurderes i dag.

¹⁶³ Norway. (2022). Nationally Determined Contribution (NDC) of Norway for the timeframe 2021–2030. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/NDC%20Norway_second%20update.pdf

¹⁶⁴ European Commission (2021). Why do we need carbon capture, use and storage? <http://tiny.cc/eof9yz>

¹⁶⁵ See pdf for the proposed changes. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-6210-2023-INIT/en/pdf>

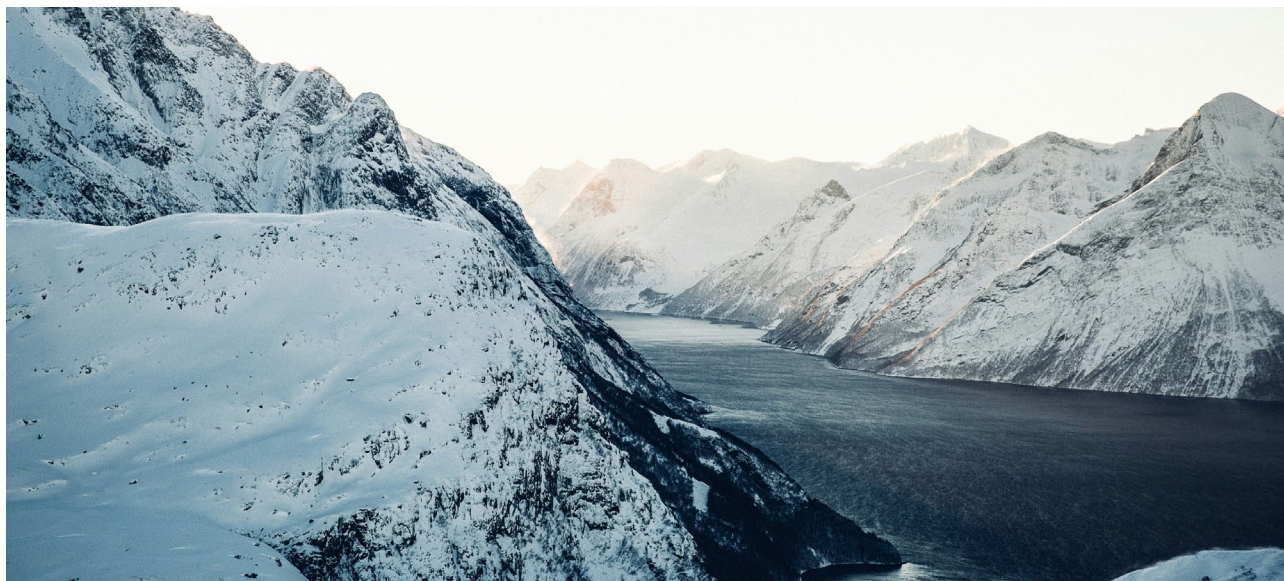
¹⁶⁶ Note that this includes capture from both emission reduction and emission removals.

b) EUs rammeverk for sertifisering av karbonfjerning (CRCF)¹⁶⁷

I 2022 foreslo EU-kommisjonen et regelverk for frivillig sertifisering av karbonfjerning, som fastsetter kvalitetskriterier for fjerning, samt regler for sertifiseringsprosessen og anerkjennelse av sertifiseringsordninger i EU. Rammeverket for sertifisering av karbonfjerning (CRCF) skal harmonisere de ofte ulike sertifiseringsprosedyrene og sikre at felles kvalitetskriterier opprettholdes. I februar 2024 ble det oppnådd en foreløpig politisk enighet om teksten til CRCF. Avtalen fastsetter "QU.A.L.I.T.Y"-kriterier¹⁶⁸ for CDR-aktiviteter – nemlig regler som skal sikre nøyaktig kvantifisering, reell addisjonalitet, langtidslagring og bærekraftig fjerning – der kriteriene om langtidslagring er de mest fremtredende for Norge som kilde til lagringspotensial. Selv om den endelige teksten ennå ikke er klar, er det forventet at forordningen vil knytte seg til det kommende direktivet om grønne krav og direktivet om bærekraftsrapportering (CSRD). Dette vil øke etterspørselen ved å kreve at CDR-innsatsen som selskaper i EU må gjennomføre, skal være CRCF-sertifisert. Samtidig forventes det at teksten vil begrense bruken av sertifisert fjerning til kun å bidra til EUs NDC, og ikke til tredjelandets NDC eller internasjonale etterlevelsensordninger. Det er derfor uklart i hvilken grad CRCF vil mobilisere etterspørsel og inntekter for å stimulere til CDR i EUs medlemsland og i tredjeland som Norge.

CRCF vil ha ytterligere relevans for Norge som et EØS-land, et land som grenser til EU, og som et land med et betydelig geologisk lagringspotensial. Den foreløpige avtalen fastsetter behovet for å revidere forordningen (etter tre år eller innen desember 2028), med tanke på potensialet for permanent karbonlagring i tredjeland. Innføring av CO₂-lagring i tredjeland som Norge (for CRCF-sertifiserte aktiviteter) vil sannsynligvis avhenge av at slike land har regelverkskrav som er i tråd med EUs, dvs. lagringskrav som er i tråd med EUs CCS-direktiv (som fastsetter regler for overvåking av og ansvar for lagret CO₂). EUs Net Zero Industry Act, som det også ble oppnådd foreløpig enighet om i februar 2024, fastsetter videre et årlig lagringsmål for CO₂ på 50 Mt og henviser til geologiske lagringssteder "på Unionens territorium [eller] i dens eksklusive økonomiske soner".

Når teksten er ferdigstilt, vil EU-kommisjonen samarbeide med CDR-ekspertgruppen for å utvikle skreddersydde sertifiseringsmetoder for ulike CDR-aktiviteter. Det er derfor ubesvarte spørsmål om hvilke aktiviteter som vil bli prioritert for metodeutvikling, og hvordan mer varige CDR-metoder som DACCS skal behandles i forhold til mindre varige metoder med flere bieffekter, for eksempel landbaserte metoder. I løpet av de kommende årene vil det også bli tydeligere hvordan EU vil bruke CRCF, og de sertifiserte CDR-aktivitetene som følger av dette, for å oppnå NDC og målene i klimaloven – med retningslinjer som Industrial Carbon Management Strategy (ICMS) og kommunikasjonen om klimamålene for 2040, som kontekstualiserer det forventede behovet for ulike former for CDR. ICMS identifiserer "klare muligheter for samarbeid på tvers av landegrensene", og peker på Norge som motpart i "den første kommersielle avtalen på tvers av landegrensene om å fange CO₂ produsert i EU og sende den til lagring". Norge vil utvilsomt være en viktig partner når det gjelder å oppfylle EUs klimaambisjoner, i tillegg til sine egne.



© Christian Koepke - Unsplash

¹⁶⁷ Proposal available at: <http://tiny.cc/hdg9yz>

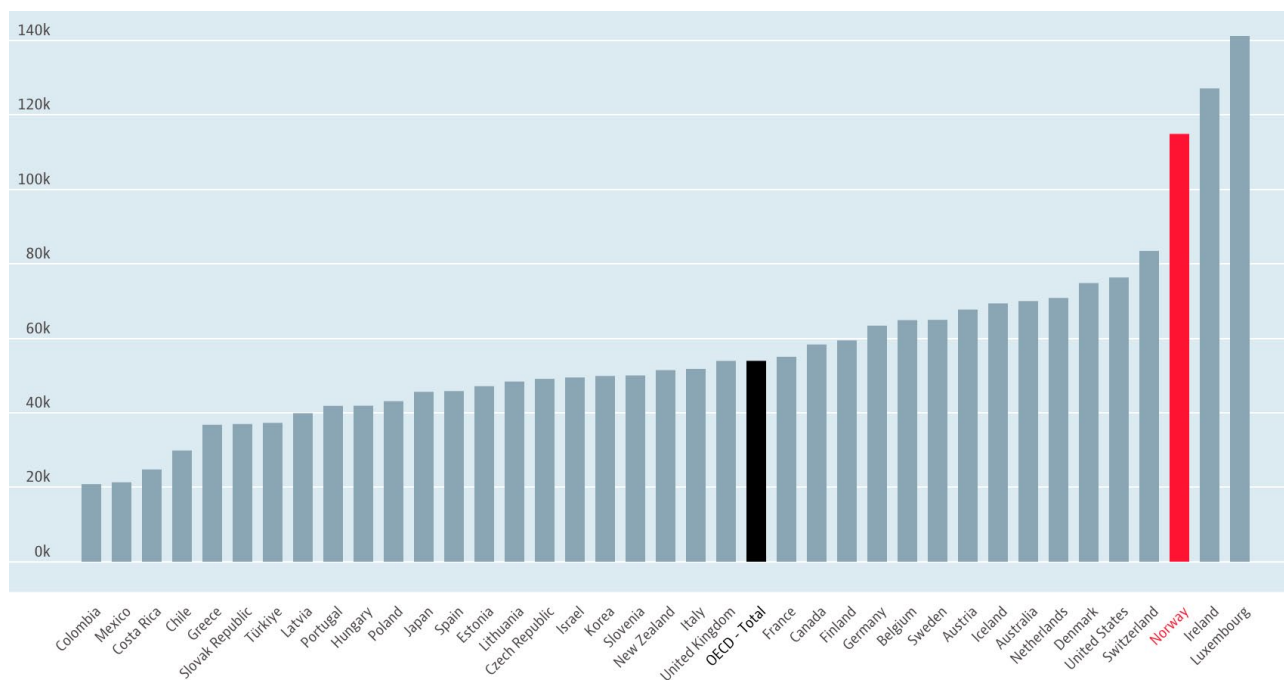
¹⁶⁸ Directorate-General for Climate Action. (n.d.). Carbon Removal Certification. <http://tiny.cc/seg9yz>

4. Norges samfunnsgeografi

Dette kapittelet har som mål å gi en oversikt over den «sosiale geografien» i Norge, og å identifisere de viktigste samfunnsmessige faktorene som muliggjør og hindrer utbredelsen av CDR. Gjennom en omfattende litteraturgjennomgang og intervjuer med ulike aktører har prosjektteamet vurdert hvordan samfunnsgeografien i Norge kan påvirke CDR implementering i landet. I tillegg gjennomførte Teknologirådet en innbyggerworkshop for å samle inn synspunkter om CDR og dens konsekvenser og muligheter for det norske samfunnet. Resultatene fra denne workshopen er oppsummert i vedlegg 5 til denne rapporten.

4.1. Økonomi og klima

Norge har en høyt utviklet blandingsøkonomi, med statlig eierskap på strategiske områder. Landet har en svært høy levestandard sammenlignet med andre europeiske land, og et robust velferdssystem. Den norske økonomien er i stor grad avhengig av olje- og gasssektoren som finansieringskilde for velferdsstaten, gjennom direkte eierskap i oljefelt, utbytte fra statens eierandel i Equinor, lisensavgifter og skatter. Olje- og gasssektoren utgjør 20% av landets samlede bruttonasjonalprodukt (BNP) og bidrar vesentlig til BNP per innbygger, som er blant de høyeste i OECD-landene (Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling). I Norges budsjettforslag for 2023 var oljeproduksjonen forventet å øke med 15% fra 2022-nivået, mens veksten i gassproduksjonen var forventet å forbli svært høy etter en økning på 7.9 % fra 2021.¹⁶⁹ Inntektene fra olje- og gassindustrien var forventet å øke med 18% fra 2022 til 2023.¹⁷⁰ Denne økningen skyldes hovedsakelig at Norge har blitt Europas viktigste leverandør av olje og gass etter at EU innførte et forbud mot russisk olje- og gassimport som følge av krigen mellom Russland og Ukraina. Ifølge Oljedirektoratet (OD) forventes den totale petroleumproduksjonen å øke med 9% innen 2024.¹⁷¹



Kilde: OECD (2023): OECD (2023), Bruttonasjonalprodukt (BNP) (indikator). doi: 10.1787/dc2f7aec-en

**Figur 26: Bruttonasjonalprodukt (BNP) per innbygger blant OECD-landene.
(US-dollar/innbygger, 2022 eller siste tilgjengelige)**

¹⁶⁹ Det Kongelige Olje- og energidepartement. (2022). Prop. 1S (2022 – 2023): Proposisjon til Stortinget (forslag til stortingsvedtak).

www.regjeringen.no/contentassets/eed690487f7846c397104ee2b984de1b/no/pdfs/prp202220230001oeddddpdfs.pdf

¹⁷⁰ Solsvik, T. and Adomaitis, N. (2022). Norway expects to earn record \$131 bln from oil and gas in 2023.

www.reuters.com/business/energy/norway-hikes-tax-oil-industry-by-nok-2-bln-2023-2022-10-06

¹⁷¹ Adomaitis, N. (2022). Norway oil and gas output to rise 9% by 2024, regulator says.

www.reuters.com/article/norway-oil/update-2-norway-oil-and-gas-output-to-rise-9-by-2024-regulator-says-idUSL8N2TTIYI

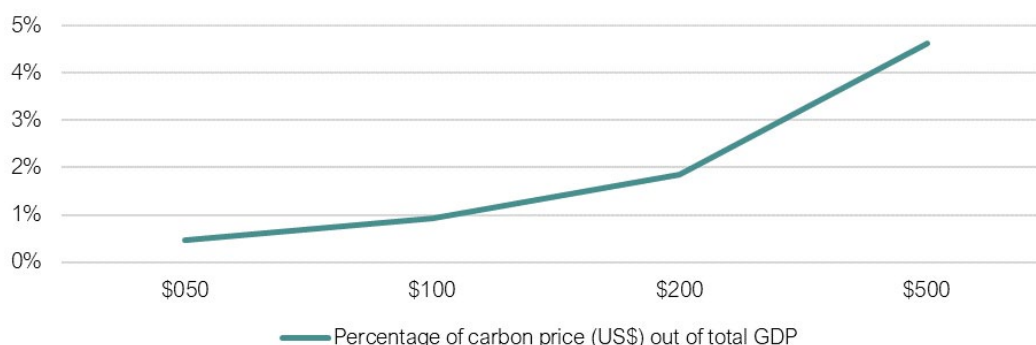
Til tross for den sentrale rollen fossilt brensel spiller i økonomien, har Norge forpliktet seg til å redusere utslippene med 55% innen 2030, sammenlignet med 1990-nivået. Per januar 2021 lå karbonavgiften på rundt 590 kroner (51 EUR / 54 USD) per tonn CO₂ ekvivalenter. Norge har kunngjort at landet vil øke avgiftssatsen til 2,000 kroner (175 EUR/185 USD) per tonn CO₂ ekvivalenter innen 2030, noe som indikerer en gradvis økning fra dagens nivå over tid. Norge deltar også i EUs kvotesystem, noe som betyr at sektorer som elektrisitets- og varmeproduksjon, energiintensiv industri, luftfart og sjøtransport er underlagt målet om å redusere klimagassutslippene med 62% innen 2030.¹⁷² OECD anslår at omtrent 83% av klimagassutslippene i Norge er underlagt en netto effektiv karbonavgift (et mål på karbonpriseringsnivået som inkluderer karbonavgifter, kvotehandelssystemer og drivstoffavgifter).¹⁷³

Som en del av sin klimahandlingsplan for perioden 2021–2030 planlegger Norge å skifte fra fossilt brensel til fornybar energi. Norge har bygget verdens største flytende havvindprosjekt – Hywind Tampen – som ble satt i drift i 2023 og har en installert kapasitet på 88 megawatt. Norge planlegger å effektivisere den nåværende konsesjonsprosessen for havvind for å nå målet for 2030.

Klimahandlingsplanen viser også til Norges mål om å oppnå klimanøytralitet innen 2030.¹⁷⁴ Ved siden av EUs kvotesystem peker planen på “internasjonalt samarbeid om utslippsreduksjoner, kvotehandel og prosjektbasert samarbeid” som viktige mekanismer for å oppnå klimanøytralitet. Ved hjelp av internasjonale samarbeidsmekanismer som Parisavtalens artikkel 6 utvikler Norge “piloter for markedssamarbeid”. Et slikt samarbeid kan bli nedfelt i en intensjonsavtale mellom Norge og Senegal undertegnet i november 2023. Denne utviklingen kan legge grunnlaget for at CDR også kan fremmes internasjonalt.

Investeringene i olje- og gassutvinning forventes fortsatt å øke, parallelt med grønne investeringer. Selv om en større andel av fossilt brensel eksporteres, er utslippene knyttet til produksjon og prosessering av olje og gass fortsatt innenfor Norges nasjonale utslippsrapporteringsforpliktelser. Denne dynamikken vil ha stor innvirkning på Norges avkarboniseringsbane når det gjelder hvor raskt og hvor store utslippsreduksjoner som er nødvendige, og kan indirekte påvirke CDR-implementering når det gjelder hvor mye penger som er tilgjengelig for henholdsvis reduksjoner og fjerning (samtidig som det er verdt å merke seg at veksten i O&G-utslippene ikke kan kompenseres gjennom karbonfjerning, og at det ganske enkelt vil kreve større og raskere utslippsreduksjoner på et senere tidspunkt).

På grunn av sin relative rikdom er Norge i en sterk posisjon til å dekke kostnadene knyttet til ulike tiltak for å begrense klimaendringene, inkludert kostnadene knyttet til karbonfjerning. I 2021 var Norges BNP 442.7 milliarder dollar, og landet slapp ut 40.9 Mt CO₂. Det betyr at økonomien «genererte» 10,820 dollar i BNP per tonn CO₂-utslipp. En karbonpris på 100 dollar per tonn, pålagt hele økonomien, ville utgjøre 4.1 milliarder dollar, noe som tilsvarer 0.92 % av BNP. Lignende beregninger kan gjøres med andre antatte karbonpriser. Eksemplet nedenfor viser hvor mye Norge må betale (i prosent av BNP) for å dekke de totale CO₂-utslippene (2021-baseline), basert på en økende karbonpris (Figur 27).



*Basert på Norges BNP i 2021 (442.8 milliarder dollar) og CO₂-utslipp i 2021 (40.92 Mt CO₂)

Figur 27: Karbonpris i forhold til total BNP %^{175,176}

¹⁷² European Commission (n.d.). *Our ambition for 2030*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/our-ambition-2030_en

¹⁷³ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). *Carbon pricing in Norway*. www.oecd.org/tax/tax-policy/carbon-pricing-norway.pdf

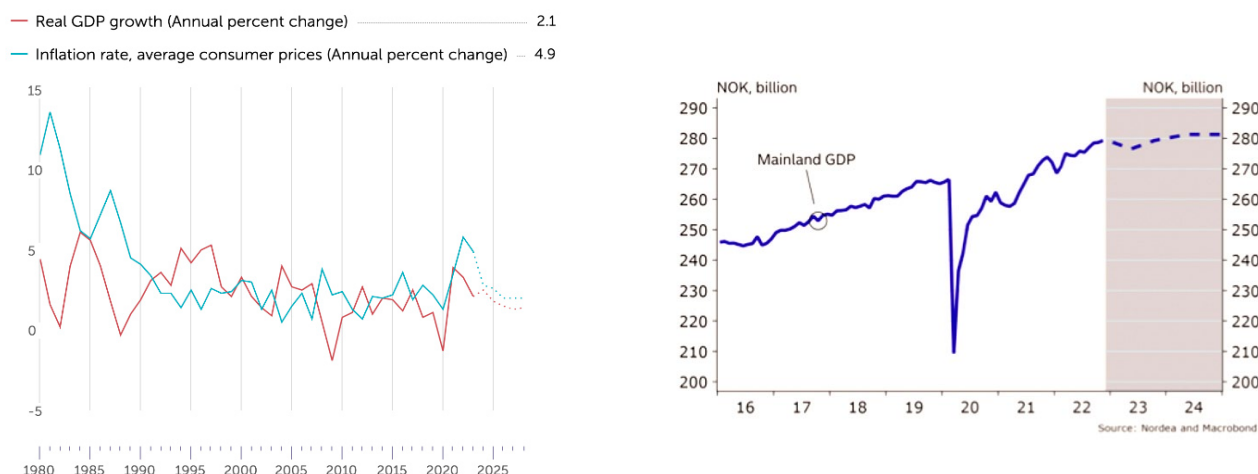
¹⁷⁴ Norwegian Ministry of Climate and Environment. (2022). *Norway's Climate Action Plan for 2021–2030*.

www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/en-gb/pdfs/stm202020210013000engpdfs.pdf

¹⁷⁵ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2022). *Norway*. <https://data.oecd.org/norway.htm>

¹⁷⁶ Ritchie, H., et al. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>

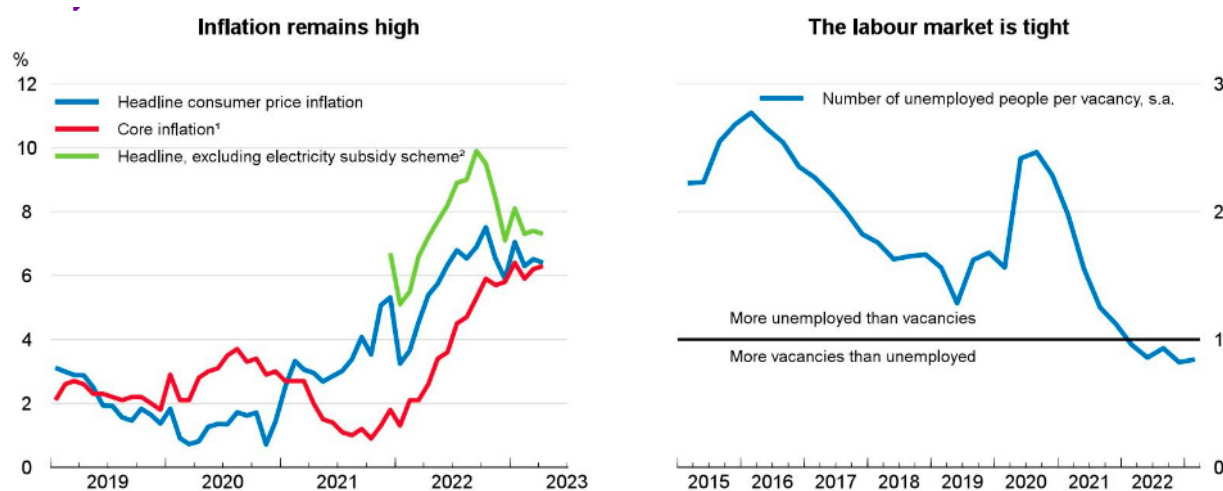
Ifølge OECD er de offentlige utgiftene i Norge fortsatt svært høye, noe som forsterkes av en aldrende befolkning og et behov for økt produktivitet i offentlige tjenester. Høye renter og lavere avkastning bremser også innbetalingene til oljefondet, noe som begrenser potensialet for å bruke penger på nye tjenester. Norge må derfor fortsatt være årvåken med hensyn til kost-nytte-faktoren i sine investeringer.



Kilde: IMF Data Mapper (2023)¹⁷⁷, Nordea¹⁷⁸

Figur 28: Real BNP-vekst og inflasjon i Norge (venstre). Stagnasjon i økonomisk aktivitet (høyre)

Den økonomiske veksten i Norge stagnerte i 2023, med nedgang i kjøpekraft på grunn av inflasjon, og det forventes lav vekst på lokalt og globalt nivå de neste årene (Figur 28). Ifølge OECD forventes Norges BNP-vekst på fastlandet å avta til 1.2 % i 2023. Tilsvarende spår IMF at BNP-veksten vil avta innen 2028 (Figur 29). Som følge av høy inflasjon, innstramminger i politikken og et stramt arbeidsmarked forventes produksjonen å holde seg på 1.3 % i 2024 (Figur 29).



Figur 29: Norges høye inflasjon og stramme arbeidsmarked^{179,180}

¹⁷⁷ International Monetary Fund (IMF). (n.d.). Norway. www.imf.org/en/Countries/NOR

¹⁷⁸ Nordea. (2023). Stagnation ahead for the Norwegian economy. www.nordea.com/en/news/stagnation-ahead-for-the-norwegian-economy

¹⁷⁹ OECD. (2023). Development in individual OECD and selected non-member economies – Norway.

<https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fstat.link%2Ffiles%2Fce188438-en%2F2ekd41.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK>

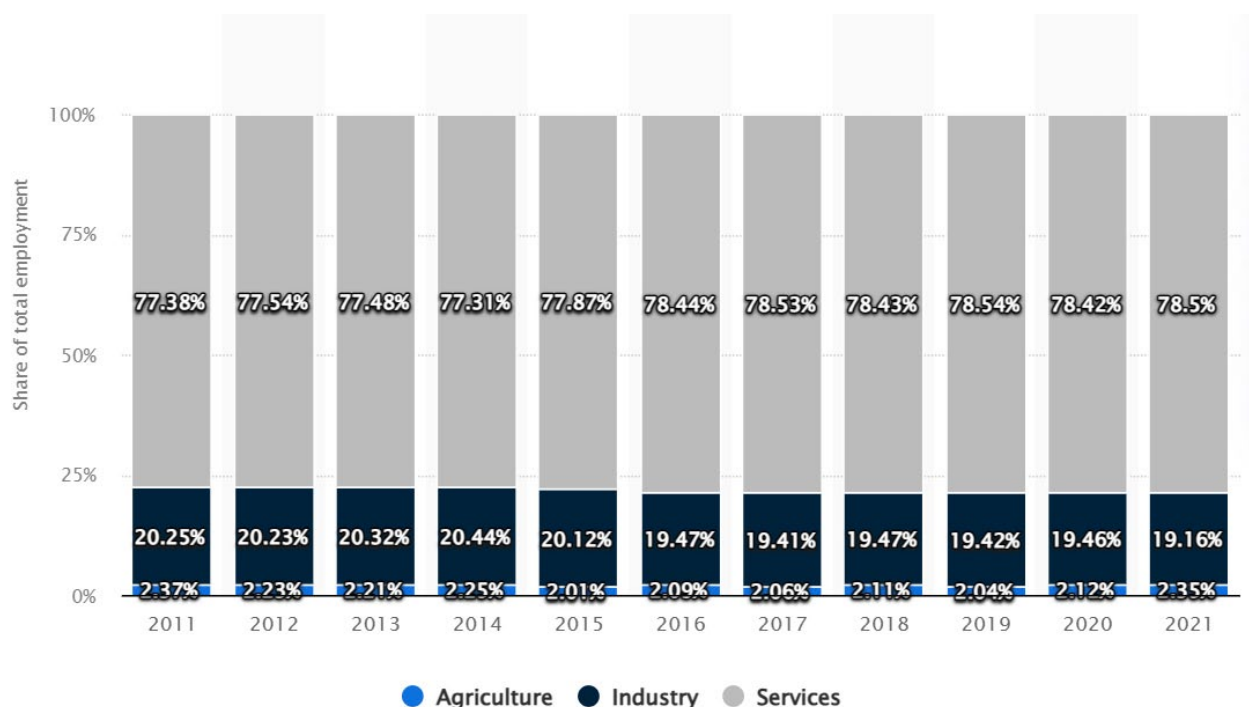
¹⁸⁰ OECD. (2023). Norway projection note, OECD Economic Outlook, Volume 2023, Issue 1. Well trained technical staff would be required to develop and apply CDR, which is currently aggravated by the tight labour market. <https://issuu.com/oecd.publishing/docs/norway-oecd-economic-outlook-june-2023?fr=sYmZhNzUwNTY2MTA>

4.2. Menneskelige ressurser

Regjeringen har som mål at Norge skal ha et arbeidsmarked der arbeidstakerne opplever trygghet, fleksibilitet og ansvarlighet i arbeidslivet. Regjeringens arbeidsmarkedspolitikk er sterkt rettet mot en balansert og konkurransedyktig økonomisk og finansiell utvikling, høy yrkesdeltakelse, inkluderende arbeidsmarked og arbeidsplasser, og lav arbeidsledighet.¹⁸¹

Det har vært et sektorskifte fra industri til tjenesteyting (78.5 %, se Figur 30), som hovedsakelig består av forretningstjenester, utdanning, helse og sosiale tjenester. Norge har en politisk interesse av å tiltrekke seg arbeidskraft til den marine sektoren, som omfatter store havbaserte næringer som maritim sektor og sjømatnæringen.¹⁸² Dette er spesielt viktig for å opprettholde befolkningen i tynt befolkede områder, for eksempel i Nord-Norge, der fiskeri og havbruk gir et betydelig bidrag til lokalsamfunnene i form av sysselsetting, verdiskaping og skatteinntekter, men fortsatt er underbemannet.¹⁸³ I så måte kan marine CDR-relaterte aktiviteter få offentlig støtte ved å bidra til sysselsetting i kystsamfunnene.

Ifølge OECD er over 30% av Norges totale arbeidsstyrke ansatt i den norske staten, en av de høyeste andelen i verden, noe som viser at offentlig sektor utgjør en betydelig kilde til etterspørsel etter arbeidskraft.¹⁸⁴ En rapport publisert av Menon Economics (2023), finansiert av Energidepartementet, viste at 5% til 6% av den totale arbeidsstyrken enten direkte eller indirekte var sysselsatt i petroleumssektoren i Norge i 2021.¹⁸⁵



Figur 30: De økonomiske sektorenes andel av BNP mellom 2011 og 2021¹⁸⁶

¹⁸¹ OECD. (2023). NORWAY – Recent policy developments and brief.

¹⁸² Norwegian Government. (2021). The Government's commitment to the ocean and ocean industries.

¹⁸³ www.regjeringen.no/en/dokumenter/the-governments-commitment-to-the-ocean-and-ocean-industries/id2857445/?ch=3

¹⁸⁴ Nofima. (2023). New report shows the Norwegian fishing industry is key for employment.

¹⁸⁵ <https://nofima.com/results/new-report-shows-the-norwegian-fishing-industry-is-key-for-employment>

¹⁸⁶ OECD (2023). Government at a Glance 2023. www.oecd.org/publication/government-at-a-glance/2023

¹⁸⁷ Norsk Petroleum. (2023). Employment in the petroleum industry.

¹⁸⁸ www.norskpetroleum.no/en/economy/employment/#:~:text=A%20similar%20report%20published%20by,sector%20in%20Norway%20in%202021.

¹⁸⁹ Statista. (2023). Distribution of employment in Norway by economic sector from 2011 to 2021.

¹⁹⁰ www.statista.com/statistics/327388/employment-by-economic-sector-in-norway



Figur 31: Sysselsatte personer 15–74 år, etter kjønn og næringsinndeling i 2022.¹⁸⁷

Ifølge en rapport fra European Labour Authority (ELA)¹⁸⁸ har Norge et utilstrekkelig antall arbeidstakere med relevant kompetanse i mer enn 250 yrker. Nesten halvparten av norske bedrifter oppgir at det er behov for mer teknisk og ingeniørfaglig kompetanse i arbeidsstyrken.¹⁸⁹ Denne kompetansen vil være spesielt viktig hvis Norge skal kunne utvikle og ta i bruk CDR i stor skala. Mangelen på spesialisert teknisk arbeidskraft vil sannsynligvis fortsette på kort sikt, ettersom investeringene i opplæring og rekruttering utvikler seg.¹⁹⁰ EU spår at Norges kompetansestruktur og befolkning ikke vil være i stand til å dekke rekrutteringsbehovet.¹⁹¹

Norske selskaper har også et stort behov for kompetanse – for eksempel krever teknologitunge organisasjoner som Abelia og Energi Norge at 70% av arbeidsstyrken deres har en mastergrad.¹⁹² Norge har imidlertid gjort en innsats for å øke interessen for tekniske studier og STEM-jobber. Dette inkluderer etableringen av Kompetansepolitisk råd og Kompetansebehovsutvalget, utviklingen av nye styringsordninger, og gjennomføringen av et samarbeidsprosjekt med OECD for å implementere OECDs kompetansestrategi i praksis.¹⁹³

Det har vært en rask vekst i etterspørselen etter grønne jobber i Norge. Omtrent 26% av norske arbeidstakere, på tvers av ulike kvalifikasjonsnivåer, er involvert i jobber med en betydelig andel «grønne» oppgaver (f.eks. ingeniører innen solenergisystemer, renovatører og innsamlere av resirkulerbart materiale).^{194,195} Sammenlignet med OECD-gjennomsnittet på 18% har norske regioner en høyere andel av «grønne» jobber (Figur 32).

¹⁸⁷ Statistics Norway. (2023). *Employment, register-based*. www.ssb.no/en/arbeid-og-lonn/sysselsetting/statistikk/sysselsetting-registerbasert

¹⁸⁸ ELA. (2021). *Report on Labour Shortages and Surpluses*. www.ela.europa.eu/sites/default/files/2021-12/2021%20Labour%20shortages%20%20surpluses%20report.pdf

¹⁸⁹ TENKA. (2022). *Major lack of ICT and engineering expertise in Norwegian companies*. www.tekna.no/aktuelt/stor-mangel-pa-ikt--og-ingeniorkompetanse-i-norske-bedrifter

¹⁹⁰ Ibid.

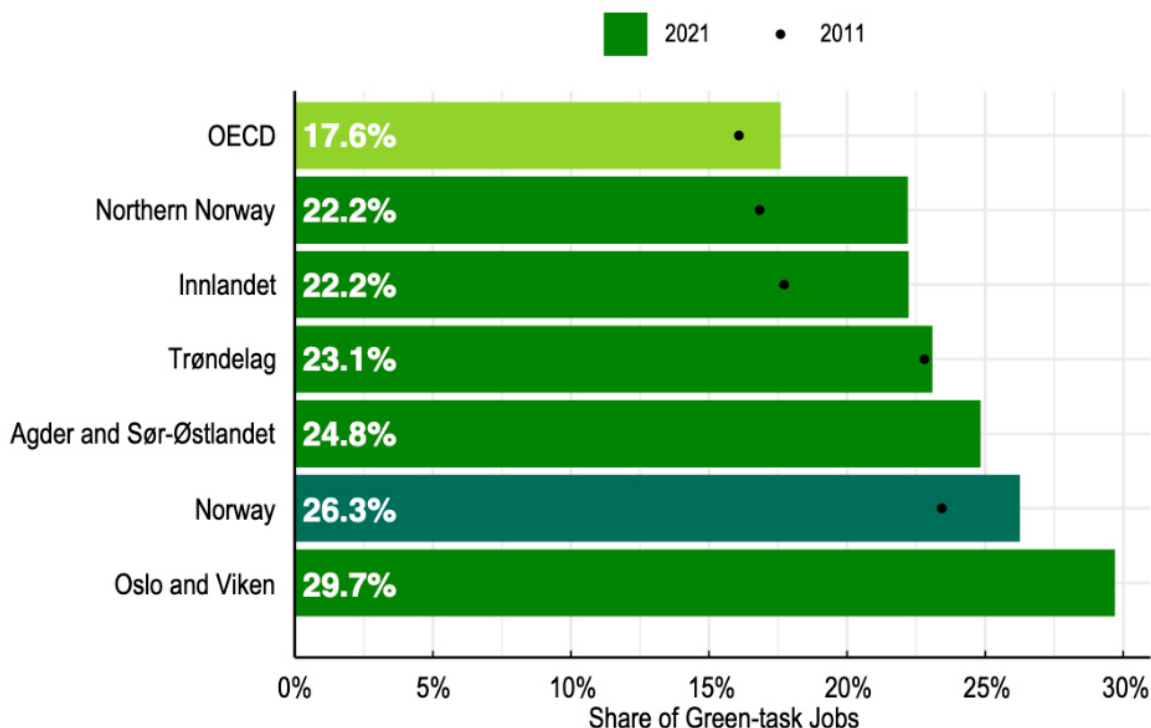
¹⁹¹ EURES. (2023). *Labour market information: Norway*. https://eures.ec.europa.eu/living-and-working/labour-market-information/labour-market-information-norway_en

¹⁹² Oslo Business Region. (2023). *New report highlights the lack of competent tech talent in Norway*. <https://tinyurl.com/2329p7dh>

¹⁹³ OECD. (2014). *OECD Skills Strategy Norway*. <https://www.oecd.org/skills/nationalskillsstrategies/Norway-Diagnostic-Report-Executive-Summary.pdf>

¹⁹⁴ Based on classifications developed by O*NET for more than 900 occupations.

¹⁹⁵ OECD. (2023). *Job Creation and Local Economic Development 2023: Bridging the Great Green Divide*. <https://t4.oecd.org/cfe/leed/NOR.pdf>



Figur 32: Grønne arbeidsplasser i Norge og OECD (2011–2021).¹⁹⁶

I sin langsiktige lavutslippsstrategi (LT-LEDS), som ble levert til UNFCCC i 2020, peker Norge dessuten på at landet har en sterk posisjon med høy deltakelse i arbeidsmarkedet og en kompetent arbeidsstyrke, noe som gir et godt utgangspunkt for å absorbere ny kunnskap og teknologi, potensielt inkludert CDR.

Norges eksisterende kunnskaps- og kompetansebase kan fungere som en muliggjørende faktor for CDR. For eksempel kan O&G-sektoren bidra med teknisk kompetanse om verdikjeder, transport og lagring av CO₂, f.eks. i eksisterende oljebrønner på norsk sokkel.

4.3. Politisk/offentlig landskap

Fra slutten av 2021 har Norge en mindretallsregjering bestående av Arbeiderpartiet og Senterpartiet (slike koalisjoner mellom sentrum-venstre- og høyresiden er vanlig i Norge). I forkant av valget i 2021 var det mange spekulasjoner om økonomiens fremtid, med tanke på det nåværende fokuset på fossilt brensel, og muligheten for at Arbeiderpartiet skulle danne en koalisjon med Miljøpartiet De Grønne for å få flertall.¹⁹⁷

Mens Miljøpartiet De Grønne tok til orde for å avslutte oljeleting og -produksjon innen 2035,¹⁹⁸ og fokusere på investeringer i fornybar energi, avbrøt Arbeiderpartiets koalisjon med Senterpartiet denne planen.

¹⁹⁶ OECD. (2023). Job Creation and Local Economic Development 2023: Bridging the Great Green Divide. <https://t4.oecd.org/cfe/leed/NOR.pdf>

¹⁹⁷ Lanteigne, M. (2023). The Black, the Blue and the Green: Norway's Energy Dilemmas.

<https://overthecircle.com/2023/01/09/the-black-the-blue-and-the-green-norways-energy-dilemmas>

¹⁹⁸ Adomaitis, N. (2021). Climate change in election spotlight in oil giant Norway.

www.reuters.com/business/sustainable-business/climate-change-election-spotlight-oil-giant-norway-2021-08-31/

Utgivelsen av IPCCs rapport (www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i) om de irreversible konsekvensene av klimaendringene, sammen med IEAs oppfordring om å stanse leting etter nye olje- og gassprosjekter,¹⁹⁹ satte klimaendringene i høysetet for den politiske diskusjonen i Norge. Valget i 2021 ble kalt "klimavalget", noe som understreket de økende spenningene mellom nordmenn og regjeringen.²⁰⁰ Etter Covid-19-pandemien og invasjonen av Ukraina førte en kraftig økning i oljeprisen til at planene om å stanse petroleumsutvinningen ble satt på vent. Nye borelisenser ble utstedt i 2022, og EUs krav om et moratorium for utvinning av fossilt brensel i Arktis har ennå ikke blitt omsatt i praksis i Norge.²⁰¹ Det vil trolig ta flere tiår å fullstendig omstille seg bort fra en industri som i dag sysselsetter nesten 7% av landets arbeidsstyrke og står for 20% av økonomien.²⁰²

Denne overgangen kan også være en mulighet for Norge til å omorganisere arbeidskraften som i dag er ansatt i O&G, over til CDR. Flere CDR-metoder bygger på lignende teknologisk kunnskap som O&G, særlig når det gjelder drift og vedlikehold av rørledninger samt geologiske CO₂ lagringsløsninger (inkludert geologisk kartlegging og prøvetaking, MRV og sikkerhetsspørsmål).²⁰³

4.4. Kulturelle, estetiske, religiøse og etiske hensyn

Norge har oppfatningen av klimaendringene endret seg gradvis. Befolkningen er generelt bevisst på klimaendringene, samfunnsengasjert og klar over behovet for klimaløsninger. Det eksisterer imidlertid et paradoks mellom erkjennelsen av nødvendigheten av klimatiltak og behovet for en nasjonal O&G-industri. Flertallet av befolkningen støtter videre leting etter olje og gass, mens omtrent en tredjedel går inn for å fase ut olje og gass.²⁰⁴ I en CICERO-undersøkelse fra 2018 om nordmenns holdning til klimaendringene, erkjente 67,4 % at de har et ansvar for å redusere klimagassutslippene. Det er imidlertid et bemerkelsesverdig sprik i støttenivået for ulike klimatiltak, og 52,7 % er imot økte priser på fossilt brensel.²⁰⁵ Mens ikke-statlige miljøorganisasjoner leder an i diskusjonene om å begrense utvinningen av olje og gass, har den norske olje- og gassindustrien posisjonert seg som miljømessig ansvarlig og lydhør overfor allmennhetens bekymringer. Equinor²⁰⁶, for eksempel, er engasjert i flere initiativer knyttet til CCS og/eller CDR, inkludert medlemskap i CCS+ initiativet og investeringer i en norsk CDR-startup.

ENGOer og deres holdninger til CDR

I Norge er ENGO-ene (Environmental non-governmental organisation) generelt positive til naturbaserte klimaløsninger, inkludert skogplanting for å binde CO₂. Noen ENGOer er imidlertid skeptiske til naturbaserte løsninger. Naturvernforbundet mener at naturbaserte løsninger låser fast ikke-bærekraftige praksiser og urettferdige maktstrukturer, samtidig som de ikke er en effektiv klimaløsning – og bemerker også at de neglisjerer det "transformative potensialet" som ligger i en "agroøkologisk"-tilnærming som søker å ta tak i bredere økologiske, sosiale og økonomiske aspekter av problemet.²⁰⁷ Når det gjelder mer "konstruerte" former for CDR, uttrykte flere miljøorganisasjoner også bekymring for at Norges CCS-planer vil føre til forsinkelser i klimatiltakene, fordi man stoler for mye på en teknologi som ligger "langt frem i tid". Greenpeace har fordømt Equinors globale prosjekter på det sterkeste, etter hvert som selskapet har økt sine letelisenser i løpet av det siste tiåret.²⁰⁸ Bellona og Zero – frivillige organisasjoner med base i Oslo – er derimot mer åpne for slike teknologier. Bellona understreket for eksempel nylig at "det er ikke nok å bare redusere fremtidige klimagassutslipp. Vi må aktivt fjerne klimagasser som allerede finnes i atmosfæren, og lagre gassene trygt i undergrunnen for alltid"²⁰⁹ Bellona understreker viktigheten av å bruke CDR i sektorer der det er vanskelig å redusere utslippene, for å håndtere restutslipp.²¹⁰

¹⁹⁹ Reed, S. (2021). To reach climate goals, new oil and gas investment must be stopped, energy agency says.

www.nytimes.com/2021/05/18/business/climate-change-report.html

²⁰⁰ The New York Times. (2021). Norway's 'Climate Election' Puts Center-Left in Charge. www.nytimes.com/2021/09/13/world/europe/norway-climate-election.html

²⁰¹ Bellona Europa. (2022). Norway must accept an oil and gas-free Arctic. <https://tiny.cc/tiq9yz>

²⁰² Norwegian Petroleum. (n.d.). The government's revenues. www.norskpetroleum.no/en/economy/governments-revenues

²⁰³ Abouelnaga, M. (2022). Engineered carbon dioxide removal: scalability and durability.

www.c2es.org/wp-content/uploads/2022/10/engineered-carbon-dioxide-removal-scalability-and-durability.pdf

²⁰⁴ CICERO. (2019). Norwegian petroleum policy in a changing climate. Report 2019:10.

<https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmlui/bitstream/handle/11250/2607906/Rapport%202019%2010%20Def%20-%20WEB.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

²⁰⁵ Ibid.

²⁰⁶ Equinor ASA (formerly Statoil and StatoilHydro) is a Norwegian state-owned multinational energy company headquartered in Stavanger

²⁰⁷ Friends of the Earth International. (2023). Factsheets: 'nature based solutions' and soil carbon farming.

www.foei.org/publication/factsheets-nature-based-solutions-and-soil-carbon-farming

²⁰⁸ Greenpeace. (2023). The truth about Equinor's global projects.

www.greenpeace.org/static/planet4-norway-stateless/2023/10/5e5e07a5-greenpeace-nordic_report-truth-about-equinors-global-projects_101023_web.pdf

²⁰⁹ Bellona Europa. (2021). Norwegian industry calls for new carbon removal policy.

<https://bellona.org/news/carbon-accounting/2021-11-norwegian-industry-calls-for-new-carbon-removal-policy>

²¹⁰ Bellona Europa. (2022). Three basics for the EU to get CDR right. <https://bellona.org/news/eu/2022-05-three-basics-for-the-eu-to-get-cdr-right>

Norsk kultur og urfolk

Forholdet mellom landskaps- og kulturminneinteresser har lenge vært et viktig tema i Norge. Spesielt har den kulturelle og etniske konflikten med samene blitt fremhevet etter utbyggingen av vindkraft på Vestlandet i 2010. Vindparkene Roan og Storheia ble utviklet som de største landbaserte vindprosjektene, men samene motsatte seg utbyggingen fordi reinen tradisjonelt har blitt holdt i området. I 2021 ble utplasseringen av 151 vindturbiner på reinbeiteområder ansett som et brudd på menneskerettighetene av Norges høyesterett. Vindmølleparkene ble likevel satt i drift, noe som bidro til å forsterke konflikten mellom den norske regjeringen og det samiske folket ytterligere. Avveiningen mellom utviklingen av klimateknologier, som potensielt kan omfatte CDR, og deres krav til fornybar kraft, og urfolks interesser, vil fortsatt være et debattområde som den norske regjeringen må ta stilling til.



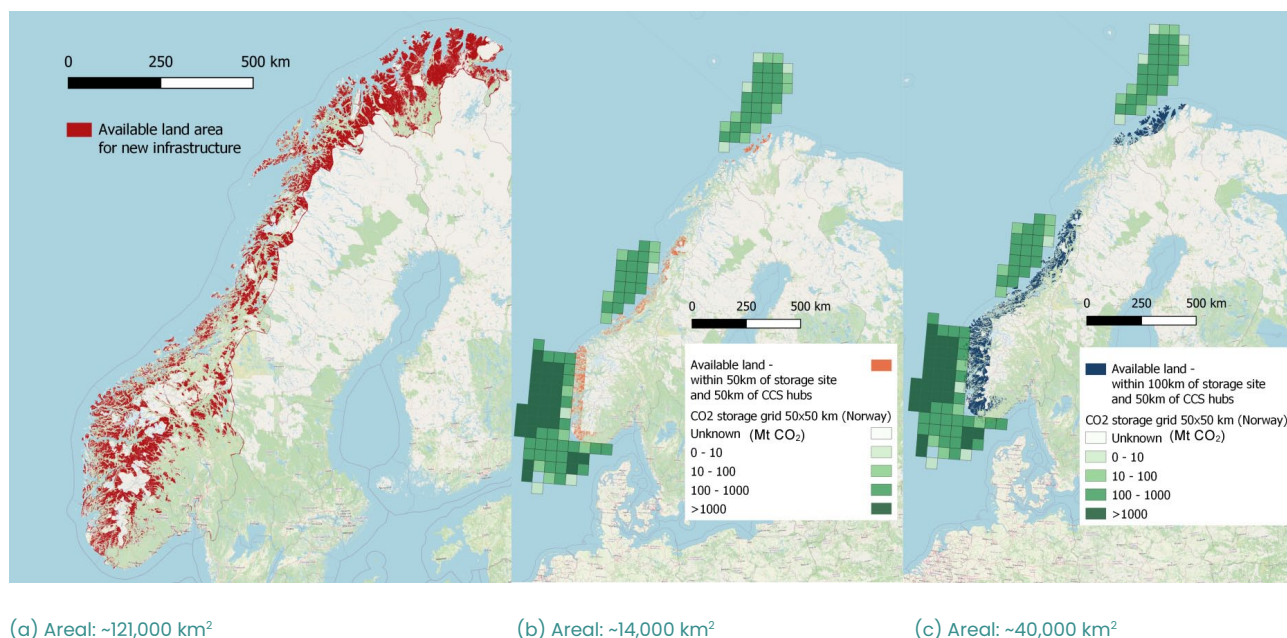
© Sebastian Goldberg - Unsplash

5. Teoretisk potensial for CDR-distribusjon i Norge

Vurdering av landareal

For å estimere potensialet for landbasert CDR i Norge ble det tilgjengelige landarealet og potensielle steder for etablering av nye CDR-teknologier identifisert. For å gjøre dette ble arealene som er okkupert av (1) byer og infrastruktur, (2) skog, (3) dyrkbar mark, (4) våtmarker, (5) vannkilder, og (6) vernet og begrenset kulturmark, nasjonalparker og friluftsområder, identifisert og «fjernet» fra det tilgjengelige arealet. Dette ga et «tilgjengelig» landområde og steder der CDR-teknologier kunne tas i bruk. Figur 33 viser det tilgjengelige landområdet etter at de «utilgjengelige» landområdene som er spesifisert ovenfor, er fjernet. Over 120,000 km² landareal kan være tilgjengelig for utplassering av ulike CDR-metoder. Det er viktig å merke seg at dette landområdet også vil bli brukt til eventuell ny infrastruktur som er nødvendig for å støtte CDR-utplasseringen, for eksempel etablering av nye CO₂ rørledninger, veier, anlegg for produksjon av fornybar elektrisitet, anlegg for produksjon av termisk energi osv.

For at CCS-baserte CDR-teknologier er avstanden til lagringssteder eller CO₂ – knutepunkter en viktig faktor som påvirker økonomien ved disse metodene. Figur 33 viser det totale landarealet som er tilgjengelig for utbygging av infrastruktur, og landarealet som ligger innenfor 50 km og 100 km fra lagringssteder eller CCS-knutepunkter.



Figur 33: Fra venstre til høyre: (a) Totalt tilgjengelig landareal for infrastrukturutvikling i Norge (b) Tilgjengelig landareal innenfor 50 km fra lagringsplasser eller CCS-knutepunkter (c) Tilgjengelig landareal innenfor 100 km fra lagringsplasser eller 50 km fra CCS-knutepunkter.²¹¹

På et overordnet nivå er de tilgjengelige arealene store nok til å iverksette ulike CDR-metoder og utvikle den nødvendige infrastrukturen for å støtte dem. I underkapitlene senere i denne rapporten vurderes imidlertid det tilgjengelige landarealet mer detaljert, for å identifisere egnede steder for en gitt CDR-metode. I underkapitlet nedenfor presenteres energitilgjengeligheten i Norge og de forutsetningene som er lagt til grunn for å estimere CDR-potensialet i Norge.

²¹¹ Carbon Limits Assessments using information from Miljødirektoratet, Hanssen-Bauer, I. et al. (2017). *Climate in Norway 2100*. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M741/M741.pdf>

Forutsetninger om tilgjengelighet av termisk energi og elektrisitet

Energitilgjengelighet er den viktigste begrensningen for flere CDR-metoder. Det finnes flere studier om forventet elektrisitetsproduksjon og -forbruk i Norge. Samtidig er det begrenset med studier om varmeproduksjonskapasiteten i Norge. Kapittel 2.1 oppsummerte de ulike studiene som er tilgjengelige om elektrisitetsproduksjon og -forbruk. Tabell 11 oppsummerer forutsetningene som er brukt for å estimere CDR-potensialet i et lavt og høyt scenario.

	2030 (TWh/år)	2040 (TWh/år)	2050 (TWh/år)	Hovedkilde til informasjon
Lavt scenario	7 – 15	11 – 40	16 – 37	NVE (2021), Statnett (2021), Thema og Multiconsult (2022), DNV GL (2021), Prosess21 (2020)
Høyt scenario	4 – 33	64 – 103	170 – 212	Norsk Industri, Energiomstilling i Norge (2022)

Tabell 11: Forventet elektrisitetsoverskudd i Norge mellom 2030 og 2050 i lav- og høyscenarioene

For produksjon av termisk energi finnes det svært få studier av estimert produksjon og etterspørsel. SINTEF-rapporten (presentert i kapittel 2.1 og vedlegg 4) anslår biomassepotensialet i Norge, dersom eksisterende biomasse i Norge utnyttes effektivt. Estimaten fra SINTEF ble brukt til å utvikle et lavt og et høyt scenario for termisk energiproduksjon i Norge. Selv om SINTEF presenterer tre scenarier, er det flere politiske tiltak som må iverksettes for å realisere disse potensialene. Derfor har vi valgt å bruke BAU-scenarioet (Business as Usual) for å estimere biomassepotensialet i Norge. Potensialet som er oppgitt i 2030, ser ut til å være vanskelig å oppnå i løpet av 6 år, og det er derfor antatt at denne kapasiteten er oppnåelig innen 2050. Innen 2040 er det lagt til grunn en antakelse om 50% av denne kapasiteten. Tabell 12 viser en oppsummering av tilgjengelig biomasse og varmeenergien som kan utvinnes fra denne kapasiteten.

	2030 (TWh/år)	2040 (TWh/år)	2050 (TWh/år)	Hovedkilde til informasjon
Lavt scenario	7	14	28	SINTEF Energi Forskning, 2023
Høyt scenario	9	18	37	SINTEF Energi Forskning, 2023

Tabell 12: Forventet overskudd av termisk energi i Norge mellom 2030 og 2050 i lav- og høyscenarioene

En annen metode for fornybar varmeproduksjon er bruk av elektriske ovner for å produsere varme ved hjelp av ren elektrisitet. Ifølge en rapport fra McKinsey²¹² kan man oppnå temperaturer på opptil 400° C ved hjelp av elektriske ovner. I noen tilfeller har man vurdert produksjon av varme fra elektrisitet for å vurdere det maksimale teoretiske CDR-potensialet.

For andre ressurser som land, vann og mineraler er behovene estimert basert på det maksimale utbygningspotensialet med energitilgjengelighet som den viktigste begrensningen. I alle tilfeller har ikke tilgangen på land, vann eller mineraler blitt identifisert som en flaskehals for de vurderte CDR-metodene. Dette beskrives nærmere i underkapitlene som fokuserer på hver enkelt CDR-metode.

²¹² Roelofs, O. et al. (2020). Plugging in: What electrification can do for industry..

www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/plugging-in-what-electrification-can-do-for-industry

5.1. Teoretisk potensial for DACCS

Potensialet for DACCS ble estimert basert på tre "All-In"-scenarier, med energikrav som begrensning. CDR-potensialet for DACCS i de tre scenariene er oppsummert i Tabell 13.

- Scenario 1.1: lave estimater for elektrisitetsproduksjon er lagt til grunn. Termisk energi til DACCS kommer fra elektrisitet.
- Scenario 1.2: lave estimater for elektrisitetsproduksjon legges til grunn. Termisk energi til DACCS kommer fra biomasse.
- Scenario 2: høye estimater for elektrisitetsproduksjon legges til grunn. Den termiske energien til DACCS kommer fra en kombinasjon av overskudds elektrisitet og biomasse.

Scenario	Metode	TRL	2030 (Mt CO ₂ /år)	2040 (Mt CO ₂ /år)	2050 (Mt CO ₂ /år)
Scenario 1.1	Elektrokjemisk DACCS	4	10 – 20	16 – 55	23 – 51
	S-DAC (Solid Sorbent DAC)	7-8	4 – 6	6 – 16	9 – 15
	L-DAC (Liquid Solvent DAC)	7-8	3 – 5	5 – 13	8 – 12
	Mineral looping DACCS	3-4	4 – 7	6 – 18	8 – 17
	Humidity swing DACCS	3-4	22 – 46	34 – 123	49 – 114
Scenario 1.2	Elektrokjemisk DACCS	4	10 – 20	16 – 55	23 – 51
	S-DAC (Solid Sorbent DAC)	7-8	4 – 5	9 – 10	19 – 20
	L-DAC (Liquid Solvent DAC)	7-8	4 – 5	8 – 9	16 – 18
	Mineral looping DACCS	3-4	4 – 5	9 – 10	17 – 19
	Humidity swing DACCS	3-4	22 – 46	34 – 123	49 – 114
Scenario 2	Elektrokjemisk DACCS	4	6 – 46	95 – 143	252 – 293
	S-DAC (Solid Sorbent DAC)	7-8	2 – 14	35 – 43	92 – 88
	L-DAC (Liquid Solvent DAC)	7-8	2 – 11	32 – 34	84 – 71
	Mineral looping DACCS	3-4	2 – 15	34 – 47	90 – 96
	Humidity swing DACCS	3-4	12 – 102	198 – 318	523 – 653

*NOTAT: Disse estimatene er ikke kumulative, ettersom det teoretiske potensialet er estimert under forutsetning om at alle ressursene utelukkende brukes på én teknologi.

Tabell 13: DACCS-potensial i ulike scenarier mellom 2030 og 2050, med elektrisitet og varme som begrensning for ulike typer DACCS-teknologier – mest sannsynlig potensial i hvite celler.

Estimatene ble utført for alle DACCS-metodene, men de er på ulike nivåer av teknologisk modenhet. DACCS med flytende løsemidler (L-DAC) og DACCS med faste sorbenter (S-DAC) har i dag kommersielle anlegg i liten skala, med et teknologi-beredskapsnivå (TRL) på mellom 7 og 8.²¹³ I henhold til IEAs DAC-rapport²¹⁴ har elektrokjemisk DACCS en TRL på 4, mens mineral looping DACCS og humidity swing DACCS har en TRL på mellom 3 og 4. I den innledende utplasseringsfasen bør Norge vurdere L-DAC og S-DAC som de dominerende teknologiene. Pilotstudier og småskala demonstrasjonsprosjekter for elektrokjemisk, mineral looping og humidity swing DACCS må gjennomføres for å kunne utvikle mer nøyaktige estimater for disse teknologiene i Norge.

Ideelt sett vil en kombinasjon av elektrisitets- og biomassedrevet termisk energiproduksjon fungere best i Norges tilfelle. Estimaten som presenteres, er basert på en antakelse om at alt overskudd av biomasse og elektrisitet går til drift av DACCS-anlegg. For å estimere det realistiske potensialet for DACCS i Norge må det gjøres en realistisk vurdering av konkurrerende energibrukere.

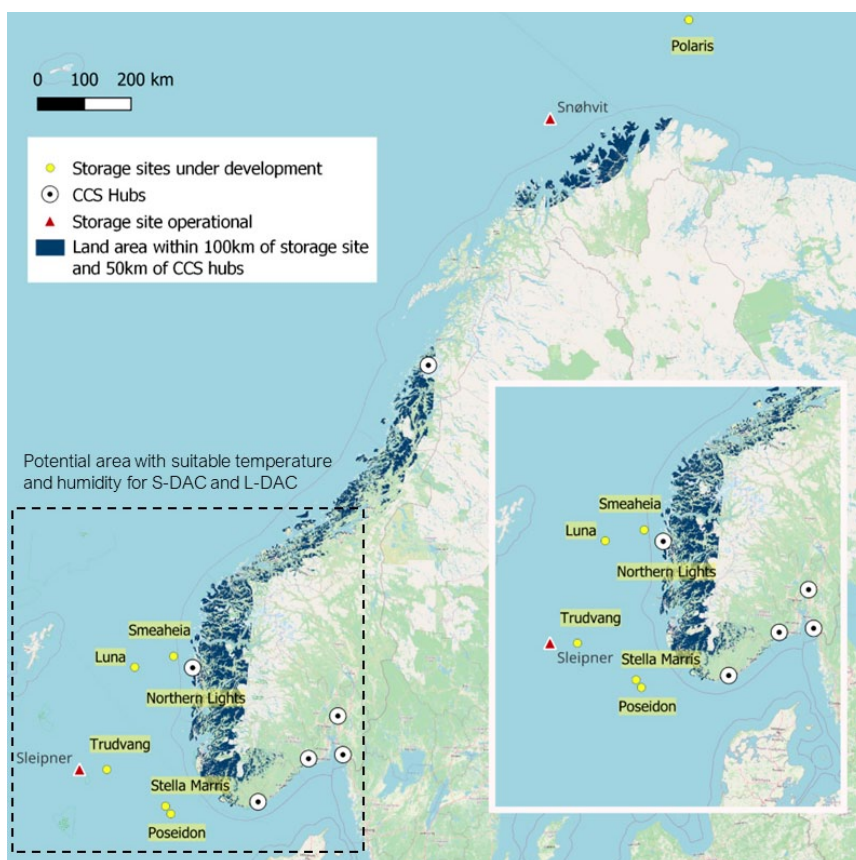
²¹³ Technology readiness levels (TRLs) are a method for estimating the maturity of technologies during the acquisition phase of a program. TRLs enable consistent and uniform discussions of technical maturity across different types of technology.

²¹⁴ International Energy Agency (IEA). (2023). *Direct Air Capture*. www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/direct-air-capture

I tillegg til utviklingen av DAC-anlegg må det også utvikles lagringsområder for fanget CO₂ for at det fulle potensialet til DACCS som CDR-metode skal kunne utnyttets. Som nevnt i kapittel 2.7 er den totale lagringskapasiteten for kommende CO₂ lagringsprosjekter anslått til å nå 58 Mt per år innen 2030. Av dette er 23 Mt per år reservert av de planlagte CO₂ fangstprosjektene, slik at 35 Mt per år av lagringskapasiteten er tilgjengelig for fremtidig allokering. Med fokus på S-DAC for L-DAC i 2030 ligger maksimumsestimaten som presenteres i scenariene, godt under 35 Mt per år, noe som betyr at tilgjengeligheten av lagringskapasitet ikke er en flaskehals for at disse scenariene skal kunne realiseres.

Når det gjelder andre ressurser som kreves for å ta i bruk L-DAC og S-DAC, bruker landarealet og vannet som kreves for det mest intensive scenariet, mindre enn 2% av landarealet som er tilgjengelig innenfor 100 km fra lagringssteder og CCS-knutepunkter, og mindre enn 0.1 % av vannet som for tiden er tilgjengelig i Norge (i gjennomsnitt). Å sikre tilstrekkelig energiforsyning vil dermed være den største faktoren når det gjelder ressursbehov i DAC-utbyggingen.

Et annet viktig aspekt for driften av L-DAC og S-DAC er temperatur- og luftfuktighetsforholdene i regionen. Selv om det er et betydelig landområde tilgjengelig for utplassering av DACCS, har en stor del av Norge en gjennomsnittstemperatur på under 0° C i mer enn fire måneder i året.²¹⁵ Luftfuktigheten på disse stedene er vanligvis høyere enn 55%, som er den ideelle driftsfuktigheten for DACCS. DACC-anleggene som er installert på Island, måtte nylig ta en pause i driften på grunn av lave temperaturer.²¹⁶ Figur 34 viser området som kan være ideelt for utplassering av DACCS, med passende værforhold som er typiske i disse områdene i mer enn 9 måneder i året. Et annet alternativ for utplassering av DACCS er området rundt CO₂ – knutepunktene, som gir lettere tilgang til havner og industrier med høye utslipp. Det kreves imidlertid en grundigere vurdering av nærheten til byer og boligområder for å avgrense hvilke områder som egner seg.



Kilde: Carbon Limits analyse basert på flere kilder

Figur 34: Potensielt område med passende temperatur og fuktighet for S-DAC og L-DAC

²¹⁵ Carbon Limits assessment using information from www.yr.no/nb

²¹⁶ George, V. (2022). World's Largest Carbon Removal Plant 'Orca' Freezes Over In Iceland.

<https://carbonherald.com/worlds-largest-carbon-removal-plant-orca-freezes-over-in-iceland>

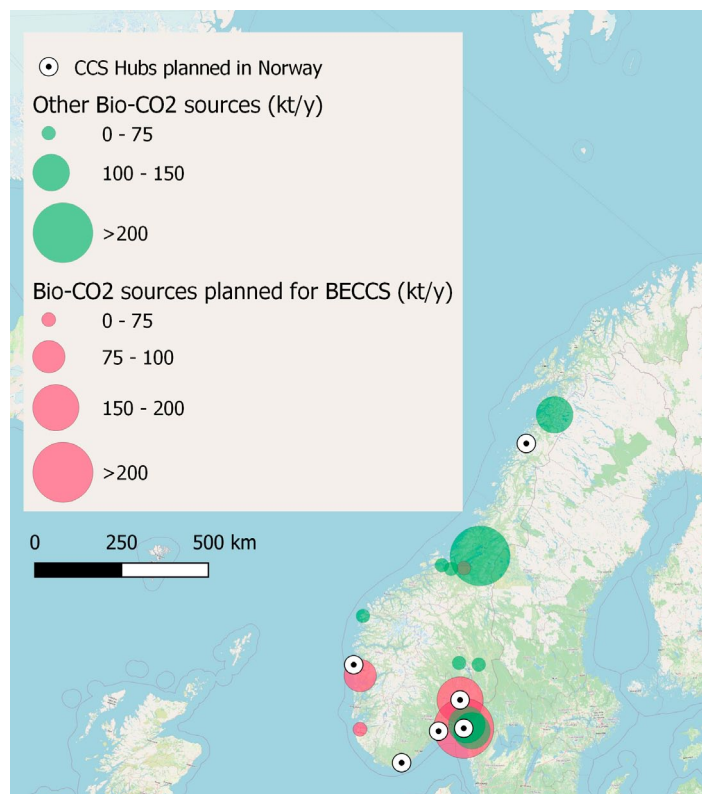
I dette underkapittelet har vi hovedsakelig fokusert på S-DAC og L-DAC, men det vil være nødvendig med en grundigere analyse av elektrokjemisk DACCS, mineral looping DACCS og humidity swing DACCS når det foreligger mer informasjon og flere tester av disse teknologiene.

5.2. Teoretisk potensial for Bio-CCS og biokull (pyrolyse)

Bio-CCS

For å vurdere potensialet for Bio-CCS brukte prosjektteamet noen av de samme informasjonskildene som er presentert i underkapittelet om DACCS. Det finnes i dag flere kilder til bio-CO₂ i Norge, som tilbyr en "lavthengende frukt" – løsningen for fangst og lagring av denne bio-CO₂. Figur 35 viser fordelingen av anlegg som slipper ut over 50 kt CO₂ hvert år som kan fanges og lagres som bio-CO₂. Anleggene som ligger i nærheten av CCS-knutepunktene som er under utvikling, har annonsert fangst og lagring av bio-CO₂. Det er behov for en grundigere analyse av andre bio-CO₂ kildeanlegg og deres nærhet til CCS-knutepunkter eller lagringssteder. Rundt 1.8 Mt CO₂ per år kan fanges med eksisterende kilder til bio-CO₂ i Norge. Dette kan være et mål for 2030.

I vurderingen av potensialet for DACCS ble vekstpotensialet for biomasse, slik det ble presentert i SINTEF-rapporten, brukt til å estimere den termiske energikapasiteten. Den samme forutsetningen ble brukt for å estimere det teoretiske bio-CCS-potensialet i Norge i 2040 og 2050 og det ytterligere potensialet som kan utvikles i 2030. I BAU-scenariot i SINTEF-rapporten er 2030-estimatet antatt å være oppnåelig innen 2050, med 50% av kapasiteten oppnåelig innen 2040 og 25% innen 2030. Hvis dette tilleggspotensialet realiseres, kan bio-CO₂-kapasiteten i 2030 ligge på mellom 1.8–2.4 Mt CO₂ per år basert på eksisterende anlegg og tilleggspotensialet som er presentert i SINTEF-rapporten. Tabell 14 nedenfor oppsummerer det teoretiske potensialet i 2030, 2040 og 2050.



Kilde: Carbon Limits Assessment basert på informasjon fra Miljødirektoratet

Figur 35 Kilder til bio-CO₂ i Norge

	2030 (Mt CO ₂ /år)	2040 (Mt CO ₂ /år)	2050 (Mt CO ₂ /år)
Potensiell fjerning av bio-CO ₂	1.8 – 2.4	4.0 – 5.0	9.0 – 10.0

Tabell 14: Estimert bio-CO₂ som kan fjernes i Norge mellom 2030 og 2050 ved hjelp av Bio-CCS.

Det ligger utenfor rammene av denne rapporten å vurdere om den ekstra kapasiteten vil kunne innlemmes i eksisterende anlegg som bruker biomasse, eller om nye anlegg må bygges. Det er behov for en nærmere vurdering av areal- og infrastrukturbehov for å ta i bruk bio-CCS i Norge.

Biokull (ved hjelp av pyrolyse)

Biokull produseres ved å brenne biomasse uten oksygen, i en prosess som kalles pyrolyse. Biomassen omdannes til kull eller "biokull", som hovedsakelig består av CO₂ i fast form. Biokullet kan lagres under bakken eller i landbruksjord. Det teoretiske potensialet for lagring av CO₂ ved å omdanne biomasse til biokull var beregnet som vist nedenfor.

Med tilsvarende forutsetninger om å oppnå SINTEFs BAU-estimat for 2030 i 2050, og 50% og 25% av denne mengden i henholdsvis 2040 og 2030. Estimaten som presenteres for fjerning via bio-CCS og fjerning via pyrolyse, er begge basert på en forutsetning om at all biomasse som er tilgjengelig i det identifiserte scenarioet, utnyttes fullt ut. Oppnåelse av de maksimale teoretiske potensialene som presenteres i denne rapporten for bio-CCS og pyrolyse, er dermed gjensidig utelukkende, og disse verdiene bør ikke summeres sammen – i realiteten vil det være mulig å oppnå en eller annen kombinasjon ved å dele disse ressursene.

	2030 (Mt CO ₂ /år)	2040 (Mt CO ₂ /år)	2050 (Mt CO ₂ /år)
Potensiell fjerning av bio-CO ₂	0.8 – 1.1	1.6 – 2.3	3.2 – 4.6

Tabell 16: Estimert bio-CO₂ som kan fjernes i Norge mellom 2030 og 2050 ved hjelp av pyrolyse.

Den produserte biomassen kan lagres i jorda – noe som kan bidra til å forbedre jordsmonnet og gi fordeler for storfe som beiter på disse arealene. Dette er imidlertid et tema som er gjenstand for betydelig debatt i Norge, der enkelte interessenter er bekymret for hvor varig karbonlagringen i biokull er. Norske jordforhold kan føre til at biokull brytes ned og frigjør CO₂ i stedet for å lagre det. Det er behov for mer forskning for å vurdere hvordan denne typen lagring fungerer, og hvordan den påvirker jordforholdene i Norge.²¹⁷ Det fulle potensialet som er oppgitt i Tabell 16 representerer derfor et maksimum, under forutsetning av at alt karbonet forblir lagret, når sannsynligheten er stor for at mindre enn 100% av estimatet vil bli oppnådd på grunn av nedbrytning av biokull.

Det finnes lite informasjon om arealbehov og andre infrastrukturkrav for bio-CCS og pyrolyse i dag. Derfor er det utfordrende å vurdere hvilke områder som egner seg for etablering av nye bio-CCS-anlegg eller pyrolyseanlegg. For bio-CCS er ideelt sett avstand til lagringssteder eller CCS-knutepunkter et av hovedkriteriene, etterfulgt av nærhet til brukere av termisk energi som produseres av disse anleggene. En vurdering av disse kravene i sammenheng med det norske landskapet vil være viktig for å gi mer innsikt i det tekniske potensialet for Bio-CCS og biokull i Norge.

²¹⁷ Conclusions from the workshop conducted for co-creating a roadmap for CDR Deployment in Norway.

5.3. Teoretisk potensial for CDR-metoder knyttet til CO₂ mineralisering

Coastal enhanced weathering (CEW)

Ved CEW spres knuste mineraler som olivin i kystnære områder for å forvitte naturlig på grunn av de klimatiske forholdene og nærheten til vann. Selv om spredning av olivin ikke krever energikrevende teknologi, er utvinning og transport av olivin energikrevende. Norge har svært store forekomster av olivin og er en av de største produsentene av olivin i verden. I gjennomsnitt produseres rundt 1 Mt olivin årlig i Norge, med et potensial for å øke til opptil 3 Mt per år ved høy etterspørsel. Ifølge et intervju med Sibelco (den eneste store olivinprodusenten i Norge) kan det produseres opptil 19 millioner tonn olivin årlig i Norge de neste 20 årene. Sibelco påpeker imidlertid at det er viktig å vurdere hvor mye olivin som kan produseres på en bærekraftig måte, samtidig som man unngår negative påvirkninger på de omkringliggende økosystemene.²¹⁸

Kjemisk sett kan 1 kg olivin fange opp 1.25 kg CO₂. Under realistiske forhold er det imidlertid mellom 0.8 og 1 kg CO₂ som effektivt fanges opp av 1 kg olivin. Flere livssyklusanalyser (LCA-studier) vurderer strøm- og vannbehovet i CEW-prosessen, fra utvinning av olivin til spredning av olivin ved kysten. Studiene er imidlertid svært få og bruker europeiske gjennomsnittstall for å estimere ressurskravene.²¹⁹ Det er behov for studier som er spesifikke for Norge for å få en bedre forståelse av ressursbehovet, spesielt siden Norge i dag har produksjonsanlegg for olivin.

Det er utfordrende å vurdere potensialet for CO₂ fangst ved hjelp av CEW på dette stadiet, siden det finnes svært begrenset informasjon om gjenbruk av områder som allerede er dekket med olivin til andre formål, eller til ytterligere forvittringsprosesser. Videre er oppløsningshastigheten for olivin ved 4° C nesten halvparten av oppløsningshastigheten ved 19° C, noe som begrenser potensialet for kaldere land.²²⁰ Med tanke på at kystsonene i Norge opplever temperaturer under null grader i det minste noen måneder i året, er det nødvendig med pilottesting av CEW i sammenlignbare regioner for å estimere det reelle CO₂ fangstpotensialet ved bruk av CEW i Norge. Norske interessenter fremhevet også risikoen for at nikkel kan sive ut under CEW-prosessen og forurensning av omgivelsene.²²¹ Det er behov for mer forskning for å vurdere hvordan man kan begrense utlekking av nikkel, og hvilke miljøeffekter utlekking av nikkel kan ha.

Norge har verdens nest største kystlinje, som strekker seg over 100,000 km. Det er imidlertid to hovedbegrensninger å ta hensyn til når man vurderer CEW-potensialet: (1) beskyttede områder langs strandlinjen – områder som er beskyttet for restaurering av økosystemer, turisme eller andre formål, og (2) den tilgjengelige strandlinjens egnethet for CEW-prosessen (for eksempel jordkvalitet, luftfuktighet, garanti for oppløsning av olivin). Det er gjort svært få studier i Norge for å vurdere tilgjengeligheten av strandlinjen for CEW. *For å gi et svært overordnet estimat, antar vi at 2–10 % av denne strandlinjen kan være tilgjengelig og egnet for CEW-prosessen, og at mellom 1–7 Mt CO₂ kan fjernes ved hjelp av CEW-prosessen. Dette vil imidlertid kreve ytterligere 1.5–7.5 Mt olivin til prosessen, i tillegg til dagens produksjon i Norge.* Dette vil føre til et forbruk på mellom 0.1 og 0.7 TWh elektrisitet og opptil 0.01 milliarder kubikkmeter vann til produksjon av olivin, ifølge LCA-estimatene i noen få studier. Det er dessuten vanskelig å si om denne fjerningskapasiteten kan oppfylles årlig eller over en lengre/kortere periode, ettersom det vil avhenge av oppløsningshastigheten av olivin i vannet. Det er nødvendig med pilotprosjekter for å vurdere hvor raskt CO₂ kan fjernes fra CEW-prosessen.

Pilotprosjekter for å vurdere oppløsningshastigheten av olivin, konsekvensene for økosystemer og egnetheten til norske kystsoner for CEW, vil være avgjørende for å kunne anslå et mer realistisk potensial for CEW i Norge.

²¹⁸ Interview with stakeholder from Sibelco, Norway.

²¹⁹ Foteinis, S. et al. (2023). *Life Cycle Assessment of Coastal Enhanced Weathering for Carbon Dioxide Removal from Air*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37011253>

²²⁰ Pogge von Strandmann, P.A.E. et al. (2022). *The Dissolution of Olivine Added to Soil at 4°C: Implications for Enhanced Weathering in Cold Regions*.

www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2022.827698/full

²²¹ Interview with stakeholder from Sibelco, Norway

Terrestrial enhanced weathering (TEW)

TEW, på den annen side, refererer til forvitring i områder som ikke er kystnære, gjennom spredning av egnede mineraler (knuste silikater), som for eksempel basalt. Knuste silikatmineraler kan, når de reagerer med regnvann eller luftfuktighet, føre til permanent CO₂ låsing i området.²²² Jordbruksområder anses som spesielt egnet for terrestrisk forvitring, siden denne prosessen har flere fordeler, blant annet at den reverserer forsuring av jordsmonnet forårsaket av jordbrukspraksis.²²³

Rundt 2% av Norges landareal regnes som dyrkbar jord. Når det gjelder basalt, ble det avsatt store mengder basalt i Norge for millioner av år siden, både på og utenfor kysten. Det er også identifisert over 100 basaltstrømmer i Norskehavet, men det er ennå ikke gjort noen beregninger av hvor store reservene er.

For å gi et svært overordnet estimat: Hvis vi antar at all dyrkbar jord brukes til terrestrisk forvitring, vil rundt 7,123 km² landareal være tilgjengelig for TEW. De fleste pilotprosjektene forutsetter en tetthet av mineralspredning på rundt 2 kt basalt per km² landareal (20 tonn per hektar).²²⁴ For bruk på norsk dyrkbar mark vil dette kreve over 14 Mt basalt til TEW, noe som kan føre til at mellom 3.5–4.4 Mt CO₂ fanges opp fra atmosfæren. Det er imidlertid vanskelig å si om denne fjerningskapasiteten kan oppnås årlig eller over en lengre/kortere periode. Det er behov for pilotprosjekter for å vurdere hvor raskt CO₂ kan fjernes fra TEW-prosessen.

Det er viktig å merke seg at bindingspotensialet i TEW er svært avhengig av (1) jordas pH, (2) jordtype og partikkelstørrelse, (3) fuktighet og temperatur i området og (4) nedbør i området. Det finnes svært få casestudier på verdensbasis som har estimert potensialet for CO₂-binding i TEW ved hjelp av modeller som undersøker forvittringsprosessen og CO₂-bindingskapasiteten over tid. Oppløsningshastigheten for basalt varierer over tid, og dermed vil CO₂ som bindes, variere tilsvarende. Estimater ovenfor tar ikke hensyn til disse aspektene, på grunn av mangel på informasjon i norsk sammenheng. En grundig pilotstudie med en "grunnlinje" for jordsmonnet, der pH, jordtype og andre faktorer vurderes, er nødvendig for å estimere det realistiske potensialet for TEW i Norge.

Videre må konsekvensene av TEW på dyrkbar mark, på typen avlinger som dyrkes i Norge, på grunnvannssystemet og på dyr som beiter på disse arealene, vurderes for å sikre at økosystemet ikke påvirkes av TEW-implementeringen.

Alt i alt er estimatene for CEW og TEW i dette kapittelet veldig teoretiske, men de indikerer at Norge har et potensial for å utforske disse naturbaserte veiene for fjerning og binding av CO₂. Det er for tidlig å anslå kapasiteten for disse løsningene på nasjonalt nivå, og det er nødvendig med flere regionspesifikke pilotstudier for å utvikle en metodikk og modell for å vurdere potensialet for CO₂-fjerning.

5.4. Teoretisk potensial for skogbruksrelaterte CDR-metoder

Avskoging skjer når eksisterende skogområder hogges ned og konverteres til annen arealbruk. Utbygging av infrastruktur og boliger er de største kildene til avskoging i Norge. Skog spiller en svært viktig rolle i opptaket av CO₂ fra atmosfæren ved hjelp av den naturlige fotosynteseprosessen. To strategier kan brukes for å øke skogarealet i Norge. Med skogplanting menes planting av trær i områder som tidligere ikke hadde skogdekke, og med påskoging menes planting av trær i områder som tidligere var klassifisert som skogområder. Det er viktig å merke seg at trærns effektivitet når det gjelder å ta opp CO₂ avhenger av en rekke faktorer, blant annet treslag, skogforvaltning, økosystemets tilstand og klimaforhold. Under norske værforhold (i nord) tar det dessuten mellom 60 og 120 år før trærne er hogstmodne – det vil si at de har tatt ut sitt fulle potensial for CO₂-opptak.²²⁵ Derfor kan det være utfordrende å estimere CO₂ fangstpotensialet fra skogbruksrelaterte aktiviteter, og det må gjøres grove tilnærminger.

²²² Vienne, A. et al. (2022). Enhanced Weathering Using Basalt Rock Powder: Carbon Sequestration, Co-benefits and Risks in a Mesocosm Study With *Solanum tuberosum*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2022.869456/full>

²²³ Beerling, D. and Long, S. (2018). Guest post: How 'enhanced weathering' could slow climate change and boost crop yields. <https://tinyurl.com/3t9h479t>

²²⁴ The Future Forest Company. (2021). Enhanced Weathering of basalt rock as a method of atmospheric CO₂ removal. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6281f42ae90e071f646c5b43/the-global-future-forest-report.pdf>

²²⁵ Halldorsson, G. et al. (2008). Afforestation: Effects of afforestation on ecosystems, landscape and rural development. <https://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:701703/FULLTEXT01.pdf>

På 1950- og 1960-tallet ble det satt i gang store skogplantingsprosjekter i Norge, og det ble hovedsakelig plantet grantrær i disse områdene. Fra 1980-tallet har imidlertid skogplantingstakten gått ned på grunn av lavere økonomisk støtte fra myndighetene og lavere priser på trevirke i forhold til økte arbeidskostnader.

Studier i Norge viser at det er et betydelig potensial knyttet til skogplanting på gjengrodde arealer og påskoging i områder som tidligere var klassifisert som skogsområder. En rapport fra Miljødirektoratet i 2013 presenterte landarealet som kan være tilgjengelig for skogplanting og påskoging i Norge. Etter å ha vurdert det totale tilgjengelige arealet, ble en rekke kategorier (som fordeling av vegetasjonstyper i regionen, hogstklasse på skogareal og terrengets bratthet) brukt til å avgrense hvilke arealer som kunne være egnet for skogplanting og påskoging. I perioden 2015–2018 ble det gjennomført en pilotstudie for å plante gran på dette arealet som Miljødirektoratet hadde identifisert. For pilotstudien ble imidlertid en strengere vurdering av arealene utført, med tilleggskrav i forhold til anslaget fra 2013: (1) egnethet for vekst av grantrær, (2) begrensning til åpne områder med tidlig vekstpotensial, (3) høy produksjonskapasitet og lav negativ endring på albedo, og (4) begrensning til områder som ikke er viktige for biologisk mangfold. Tilleggsriteriene sikret også at plantingen skjer i områder som ikke er viktige for naturmangfold, friluftsinnteresser, viktige kulturhistoriske verdier eller verdifulle kulturlandskap. Arealene som Miljødirektoratet estimerte i 2013 og i den påfølgende pilotfasen, er oppsummert i Tabell 17. Tilleggskravene reduserte det tilgjengelige arealet for pilotfasen betydelig. Ved slutten av pilotfasen var det bare plantet i overkant av 6,000 dekar (6 km²) i de tre pilotfylkene. Dette forventes å fange 700 kt CO₂ i løpet av de neste 85 årene. Miljødirektoratet har anslått det totale potensialet for skogplanting på gjengrodde arealer med "akseptable effekter på biologisk mangfold og andre miljøverdier" til 190 km², med et årlig potensial på 9 km² over en 20-årsperiode.²²⁸

Områdetype	Areal anslått av Miljødirektoratet in 2013 (km ²)	Areal anslått i pilotfaserapporten fra Miljødirektoratet (km ²)
Areal egnet for påskoging (landareal som oppfyller skogdefinisjonen)	8,440	1,370
Areal egnet for skogplanting (landareal som ikke oppfyller skogdefinisjonen)	1,340	620
Totalt areal	9,780	1,990

Tabell 17: Totalt potensielt areal for skogplanting og påskoging i Miljødirektoratets rapport i 2013 og deres rapport om pilotfasen i 2019

Selv om det anslåtte arealet der planting kan finne sted er stort, blir det utfordrende å identifisere egnede områder når tilleggskriteriene for å øke klimagevinsten betydelig legges til. Miljødirektoratets rapport fra pilotfasen fremhever de potensielle målkonfliktene i skjæringspunktet mellom skogbruk, landbruk og miljø. Pilotfasen synliggjorde et behov for økt fokus på forhold knyttet til inaktive jordbruksarealer, som forholdet til jordvern og miljøverdier i naturtyper som er avhengige av skjøtsel.²²⁹

Den norske regjeringen er imidlertid i ferd med å utarbeide en tilskuddsplan rettet mot skogplanting på gjengroende og inaktive jordbruksarealer. Planen forventes å identifisere steder for potensiell planting og kvantifisere arealet som er egnet for skogplanting. Det er lite sannsynlig at ytterligere skogplanting og påskoging utover det som er planlagt av den norske regjeringen, vil kunne gjennomføres i Norge, med tanke på de vanskelighetene som er identifisert i pilotfasedokumentet. Tilskuddsplanen som Norge er i ferd med å utvikle, er i tråd med målet om å redusere gjennomsnittsalderen på skogene i Norge. I tillegg vurderer Miljødirektoratet og Landbruksdirektoratet for tiden en ny støttemekanisme som gir tilskudd til skogplanting av nye områder, med tilhørende retningslinjer.²³⁰

²²⁶ Miljødirektoratet (2013). Planting av skog på nye arealer som klimatiltak www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M26/m26.pdf

²²⁷ Miljødirektoratet. (2019). Pilotfasen for 'Planting av skog på nye areal som klimatiltak' www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/ml161/ml161.pdf

²²⁸ Zero. (2023). CO₂-fjerning – Løsningen som tar oss til null. https://zero.no/wp-content/uploads/2022/10/Co2-fjerning_rapport_nettside.pdf

²²⁹ Miljødirektoratet. (2019). Pilotfasen for 'Planting av skog på nye areal som klimatiltak' www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/ml161/ml161.pdf

²³⁰ Landbruksdirektoratet. (2023). Jord og jordhelse. www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/miljo-og-klima/jord-og-jordhelse

Et annet viktig aspekt som ble fremhevet under workshopen med interessentene, er forskjellen mellom påskoging og forbedret skogforvaltning (eller restaurering). Mens restaurering går lenger enn bare planting av trær, trenger norske myndigheter en mer konkret plan for å vurdere om CO₂-fjerning fra skogbruksrelaterte aktiviteter kan anses som addisjonale.

Myrer er oksygenfattige våtmarker som dannes ved opphopning av organisk materiale, der området kan bli vannmettet. Disse våtmarkene kan binde CO₂ per arealenhet, gjennom plantenes fotosyntese og ved å fungere som sedimentfeller for avrenning.²³¹ Rundt 10% av Norges landareal er dekket av myrer og våtmarker. De har stor betydning for økosystemene og er viktige leveområder for en rekke arter. Når myrer dreneres, blir det tilgjengelige arealet brukt til jord- eller skogbruk. Drenering av myr frigjør store mengder CO₂ til atmosfæren.

I Norge har omdisponering av myr i perioden 1990–2020 ført til totale utslipp på over 10 Mt CO₂. Nibio har anslått at et forbud mot dyrking av all myr vil kunne føre til en reduksjon i CO₂ utslippene på 0.2 til 0.6 Mt innen 2050 (kumulativt). Å hindre omdanning av myrer regnes imidlertid som CO₂ unngåelse, ikke CO₂-fjerning. Det nevnes likevel fordi det er et viktig tiltak for å kutte utslipp og bevare viktige økosystemer.²³²

Boks 2: Restaurering av våtmarker og myrer

5.5. Teoretisk potensial for havbaserte CDR-metoder

Havet spiller en sentral rolle når det gjelder å absorbere betydelige mengder CO₂ for biologisk binding. Havets absorpsjonsevne kan forbedres på flere måter, for eksempel ved hjelp av algebasert karbonfangst og -binding eller ved å forbedre havets alkalinitet for bedre CO₂ absorpsjon. Selv om forskningen på havbasert CDR fortsatt er ny, er det mye som tyder på at havene kan spille en viktig rolle i naturbasert CDR.

Tareoppdrett

Tareoppdrett er dyrking, høsting og binding av tare. Tare absorberer CO₂ gjennom fotosyntesen og lagrer karbon i sin biomasse. Denne biomassen kan potensielt bidra til CO₂-fjerning når den lagres. Tare kan også bidra til å redusere havforsuringen ved å absorbere CO₂, men miljøeffektene av storstilt taredyrking er fortsatt ikke tilstrekkelig undersøkt. Norge står for øyeblikket for 15% av den globale produksjonen av vill tare.²³³ Havområdet innenfor den norske maritime grunnlinjen dekker 89,091 km². Med verdens nest lengste kystlinje har Norge et enormt potensial for taredyrking til havs.²³⁴ Havområdene utenfor Nordland, Trøndelag og Møre og Romsdal har vist seg å være særlig egnet for dyrking av tang og tare (Figur 36).²³⁵

²³¹ MBWSR. (2023). Carbon Sequestration in Wetlands. <http://tiny.cc/3y9yz>

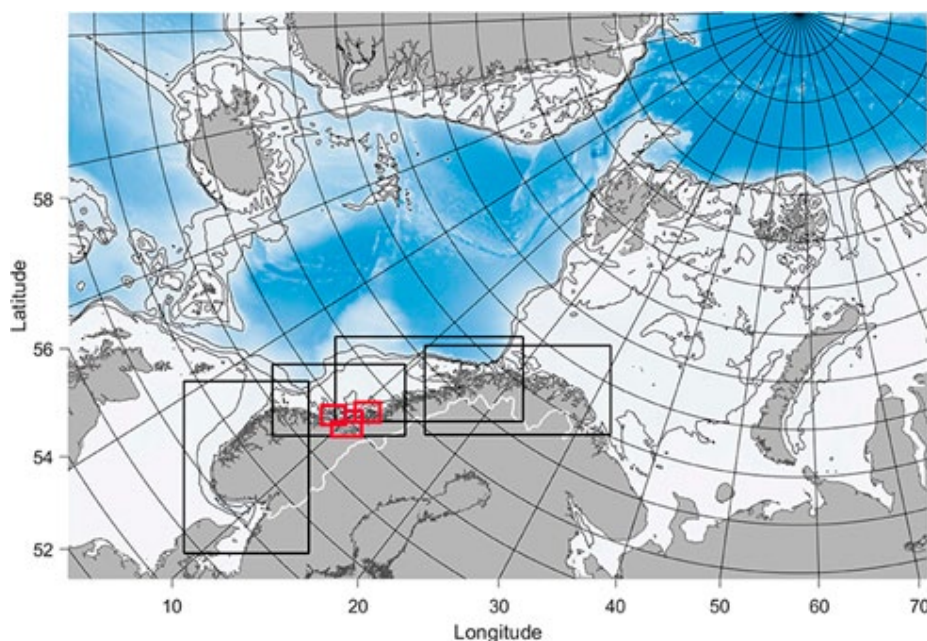
²³² Zero. (2023). CO₂-fjerning – Løsningen som tar oss til null. https://zero.no/wp-content/uploads/2022/10/Co2_fjerning_rapport_nettside.pdf

²³³ FAO. (2021). The global status of seaweed production, trade and utilization. <https://www.fao.org/3/cal121en/cal121en.pdf>

²³⁴ Edvardsen, A., and Almås, K. A. (2017). Norsk havøkonomi mot 2050. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmliui/handle/11250/2456384>

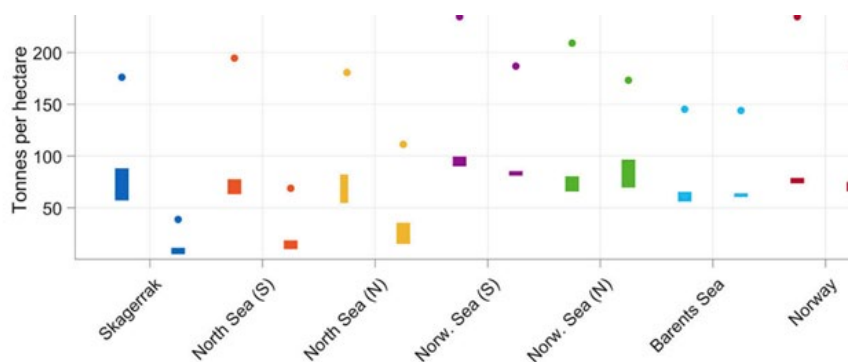
²³⁵ Norderhaug, K. et al. (2020). Ecosystem-level effects of large-scale disturbance in kelp forests.

www.researchgate.net/publication/343087337_Ecosystem-level_effects_of_large-scale_disturbance_in_kelp_forests



Figur 36: Havområdene som egner seg for dyrking av tang og tare²³⁶

En studie utført av Broch et al. vurderte potensialet for dyrking av tang og tare i norske kystområder (Figur 37).²³⁷ Det maksimale dyrkingspotensialet ble anslått til å være 15 – 20 kt/km² / år.²³⁸



Figur 37: Dyrkingspotensial innenfor norske kystøkoregioner²³⁹

Det er liten forskjell mellom utplassering om høsten (september, venstre søyler) og senvinteren (februar, høyre søyler). Utplassering i september ga lignende gjennomsnitts- og maksimumsverdier i alle regionene, men med en topp i Norskehavet.

Per 2020 er det 106 lokaliteter i Norge som har tillatelse til å dyrke tang og tare. Det totale arealet på 9.25 km² kan gi ca. 130 kt tang og tare (våtvekt) (Figur 38).

²³⁶ Edvardsen, A., and Almås, K. A. (2017). Norsk havøkonomi mot 2050. <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmliui/handle/11250/2456384>

²³⁷ Broch, O. et al. (2019). The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway.

<https://kelppro.net/onewebmedia/Broch%20etal%202019%20Kelp%20cultivation%20potential%20in%20Norwegian%20coastal%20and%20offshore%20regions.pdf>

²³⁸ Bremnes, H. et al. (n.d.) Exploring the potential in large-scale seaweed cultivation. <https://mrfylke.no/content/download/18730/206339?version=1>

²³⁹ Broch, O. et al. (2019). The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway.

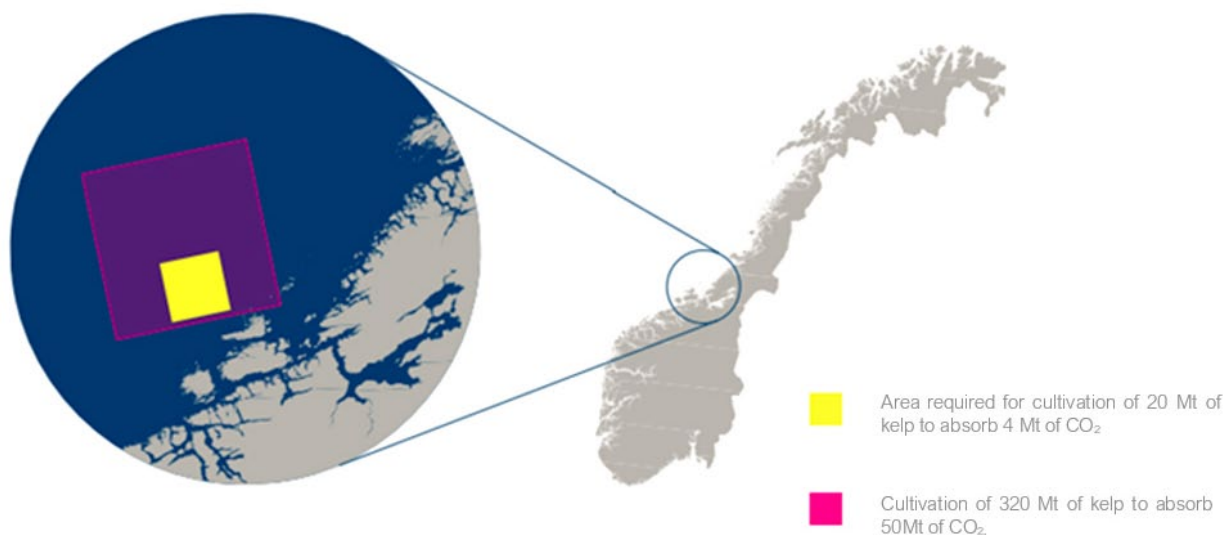
<https://kelppro.net/onewebmedia/Broch%20etal%202019%20Kelp%20cultivation%20potential%20in%20Norwegian%20coastal%20and%20offshore%20regions.pdf>

County	Number of companies	Area ha ¹⁾	The year the first licence was granted							Total sites
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Agder	3	13				1		1	3	5
Møre og Romsdal	8	101	1			2	4	1	2	10
Nordland	15	206		4	4	3	1	5	4	21
Rogaland	3	6		1			1		1	3
Troms og Finnmark	4	29				1	1		1	3
Vestland	20	453	6	9	7	6	13	8	2	51
Trøndelag	4	117	4	3	2	1	3			13
Total	57	925	11	17	13	14	23	15	13	106

1 ha = 0.01 km² = 10,000 m²

Kilde: Bremnes, H. et al.

Figur 38: Areal for dyrking av tang og tare og året tillatelsen ble gitt, fordelt på fylker



Kilde: Nye muligheter for verdiskaping i Norge

Figur 39: Områder for tareproduksjon som kreves for CO₂ fangst

Seaweed Carbon Solutions (DNV, SINTEF, Equinor og Lundin) ble lansert i april 2022. Pilotprosjektet skal vare ut 2024, og den kommersielle oppskaleringsfasen skal starte i 2025, med en eller flere større installasjoner utenfor kysten av Trøndelag. Prosjektet har en finansiering på over 30 millioner kroner over tre år. SINTEF anslår at for å fjerne 2,500 tonn CO₂ må det dyrkes ca. 20,000 tonn tang over et område på 1 km². For å fange 5 Mt CO₂ per år (12% av Norges totale årlige utslipp) kreves det at 2,000 km² av havoverflaten dekkes av tang- og tareoppdrettsanlegg. Sorten som brukes i pilotprosjektet – sukkertare – kan vokse med mer enn 1 cm per dag. Til sammenligning kan et nytt tre som plantes i dag, trenge 20 til 30 år på å oppnå sitt fulle CO₂-bindingspotensial.

Boks 3: Pilotprosjektet Seaweed Carbon Solutions

Norge har gode naturlige forhold for slike anlegg langs det meste av kysten, og spesielt til havs, der temperaturen og næringstilførselen er mer stabil enn i kystnære områder.²⁴⁰ Potensialet for tareproduksjon utenfor kysten av Norge er anslått til 20 kt/km² per år, noe som vil kunne fange 2.5–3.0 kt CO₂/km² per år.²⁴¹ Det er anslått at den norske havbruksnæringen kan produsere opptil 20 Mt tare innen 2050, noe som vil gi en samlet fangst på mellom 6 og 9 Mt CO₂ per år. Med utgangspunkt i det gjennomsnittlige produksjonspotensialet for tare i Norge vil dette kreve et areal på 2,700–3,000 km². Selv om dette høres lite ut i forhold til de 89,091 km² med maritim grunnlinje i Norge, er det flere konkurrenter om dette landarealet.

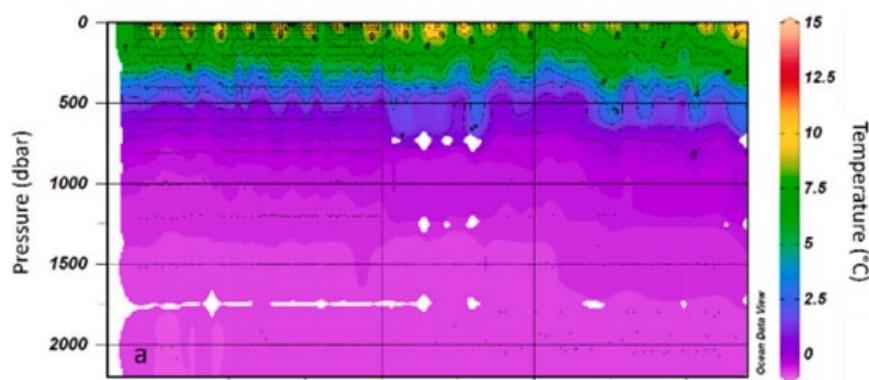
Tare er avhengig av sollys for å vokse, og krever derfor store arealer dedikert til dyrking. Selv om norskekysten er lang, er det begrenset med plass, og det er konkurranse med fiske, tråling, restaurerings- og bevaringsaktiviteter og sikring av tilgang for båttrafikk. Det finnes dessuten lite informasjon om andre infrastrukturkrav for taredyrking, som energibehov og behov for menneskelige ressurser til taredyrking i stor skala. Selv om kraftbehovet anslås å være ganske lavt sammenlignet med andre CDR-metoder, er det behov for kraft til overvåkningsutstyr, drivstoff til båter, energi til en bolig i tilknytning til oppdrettsanlegget, et automatisert system for å heve/senke liner, flytende hytter for midlertidig bolig, belysning for sikkerhet, navigasjon, sikring eller boliger.²⁴² Det er behov for mer geografisk forskning for å vurdere hvilke landområder som kan dedikeres til tareoppdrett i Norge. Til slutt, etter at taren er produsert, er det viktig å lagre den innfangede CO₂ permanent. To mulige måter å lagre CO₂ på er ennå ikke testet med tare:

- Biokull: Den høstede tangen gjennomgår en pyrolyseprosess, og deretter blandes den med kompostert tang og jord og brukes som jordforbedringstilskudd. Prosessen gir miljøvennlig og næringsrik gjødsel, samtidig som den sørger for at karbon lagres trygt og sikkert i jorden.
- Lagring på havbunnen: Den høstede tangen senkes ned på havbunnen i områder som ligger på mer enn 1,000 meters dyp. På så store dyp er det begrenset blanding med overflatevannet, slik at materialet forblir fanget i sedimentene. Dette sikrer at klimagassene ikke slippes ut i atmosfæren.

Det er behov for mer forskning og flere pilotprosjekter for å vurdere CO₂ binding ved hjelp av biokull og lagring av tare på havbunnen.

Forbedring av havets alkalinitet (OAE)

Ocean alkalinity enhancement (OAE) er en metode som innebærer å tilsette alkaliske stoffer til sjøvann for å øke alkaliniteten, noe som fører til økt opptak av CO₂ fra atmosfæren. Effektiviteten av OAE-prosessen avhenger av CO₂-konsentrasjonen og pH-verdien i sjøvannet. Gjennom årene har egenskapene til de nordiske havområdene endret seg, med økende temperaturer (Figur 40) og synkende pH (Figur 41) som den mest fremtredende faktoren.²⁴³



Figuren viser endringen i temperaturen i havvannet i perioden 1993–2003. Den venstre aksens "Trykk" er relatert til havdypet.

Kilde: Overvåking av havforsuring i norske havområder, 2019

Figur 40: Økning i overflatetemperaturen i Norskehavet (2019).

²⁴⁰ Sørensen, A. et al. (2022). *Negative Emissions and Carbon Dioxide Removal (CDR) Including Ocean Scenarios*.

www.ntnu.edu/documents/1276062818/1283878281/ntnu_rapport_negativeemissions_web.pdf/85f9e489-33ec-27c9-fe56-95ed48e309f2?t=1655988639531

²⁴¹ Broch, O. et al. (2019). *The Kelp Cultivation Potential in Coastal and Offshore Regions of Norway*.

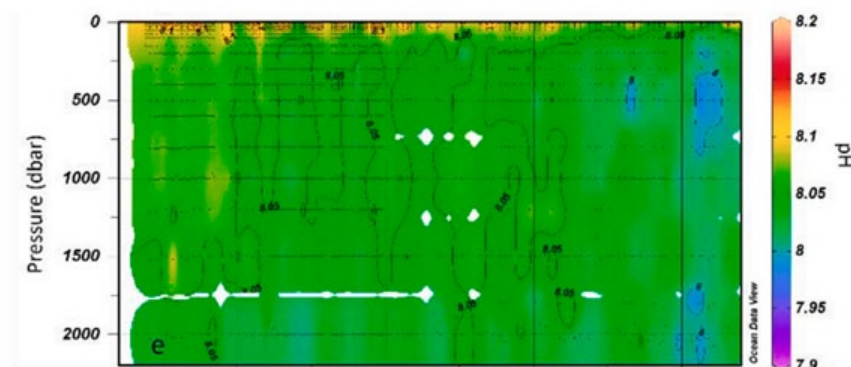
<https://kelppro.net/onewebmedia/Broch%20etal%202019%20Kelp%20cultivation%20potential%20in%20Norwegian%20coastal%20and%20offshore%20regions.pdf>

²⁴² Rose, D.J. and Gear, M.E. (2022). *Marine Renewable Energy Applications for Restorative Ocean Farming: Kelp*.

www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-32776.pdf

²⁴³ Miljødirektoratet. (2020). *Monitoring ocean acidification in Norwegian seas in 2019*. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1735/m1735.pdf

I løpet av de drøyt 200 årene siden den industrielle revolusjonen startet, har konsentrasjonen av CO_2 i atmosfæren økt som følge av menneskelig aktivitet. I løpet av denne tiden har pH-verdien i overflatevannet i verdenshavene falt med 0.1 pH-enheter (Figur 41), noe som tilsvarer en økning i surhetsgraden på omtrent 30% (siden pH-skalaen er logaritmisk).



Figuren viser endringen i pH-nivået i havvannet i perioden 2001–2021. Den venstre akse "Trykk" er relatert til havdypet.

Kilde: Overvåking av havforsuring i norske havområder, 2019

Figur 41: pH i vannsøylen i Norskehavet (2019)

Det er flere faktorer som kan begrunne OAE i norske havområder:

- På grunn av sjøvannets alkaliske egenskaper kan det løses opp betydelig større mengder CO_2 i sjøvann enn i ferskvann;
- Kaldere sjøvann kan ta opp mer atmosfærisk CO_2 enn varmere vann;
- Kaldere vann er tettere og synker ned til havbunnen, noe som betyr at dypere vann inneholder mer CO_2 .

En måte å øke havets alkalinitet på er ved hjelp av **havkalking**. Kalkstein (eller kalsiumkarbonat) brukes i havkalkingsprosessen, men den må bearbeides for å produsere kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), som deretter tilsettes sjøvannet. Kalkstein utvinnes og bearbeides til kalsiumoksid (CaO) og deretter $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som til slutt spres i havet for å ta opp CO_2 fra atmosfæren. Når kalsiumhydroksidet tilsettes sjøvann, reagerer det med syren i sjøvannet og nøytraliserer den, slik at det dannes karbonationer. Effekten er en økning i havets alkalinitet, og større alkalinitet i havet betyr at mer CO_2 kan absorberes.

Det kreves mellom 1.6 og 2.0 tonn kalkstein for å fjerne 1 tonn CO_2 fra atmosfæren. Arealbehovet er lavt, i henhold til de vitenskapelige artiklene som vurderer LCA for havkalkingsprosessen, men det avhenger i stor grad av hvor produksjonen foregår.²⁴⁴ Norge produserer mellom 5–6 millioner tonn kalkstein per år, og har kapasitet til å produsere mer.²⁴⁵ Det finnes imidlertid begrenset informasjon om hvor mye som kan produseres på en bærekraftig måte hvert år, for å kunne si noe om hvor mye kalkstein som kan brukes til havkalking.

LCA-vurderingene av havkalking som er gjennomført til nå, tar hensyn til hele prosessen, fra utvinning av kalkstein til spredning av CaO i havet. Det er også tatt hensyn til behovet for elektrisitet og termisk energi i disse trinnene. Med et elektrisitetsoverskudd på mellom 7 og 15 TWh/år (som brukt i DACCS-estimatet for "lavt scenario – 2030", se Tabell 11) og et overskudd av termisk energi på 7 TWh/år (lavt scenario – 2030, se Tabell 12), kan det produseres mellom 6.5 og 8.5 Mt ekstra kalkstein til havkalking hvert år (termisk energi er den begrensende faktoren i dette estimatet). Dette kan føre til at 4–5 Mt CO_2 fjernes fra atmosfæren. Det er imidlertid vanskelig å si om denne fjerningskapasiteten kan oppnås årlig eller over en lengre/kortere periode. Det er behov for pilotprosjekter for å vurdere hvor raskt CO_2 kan fjernes gjennom havkalkingsprosessen.

²⁴⁴ Foteinis, S. et al. (2022). Life cycle assessment of ocean liming for carbon dioxide removal from the atmosphere. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622028955

²⁴⁵ Norge Geologiske Undersøkelse (NGU). (n.d.). Kalkstein. www.ngu.no/om-geologi/kalkstein

Det er viktig å merke seg at dette estimatet er svært høyt og forutsetter at all den overskytende termiske energien som kan være tilgjengelig basert på SINTEFs biomassepotensial i 2030 og den overskytende elektrisiteten går til produksjon av kalkstein. Oppnåelse av de maksimale potensialene som presenteres i denne rapporten for DACCS og havkalking er dermed gjensidig utelukkende, og disse verdiene bør ikke summeres sammen – i realiteten vil det være mulig å oppnå en kombinasjon ved å dele på disse ressursene. Flere andre begrensende faktorer, som konkurranse om denne termiske energien fra andre aktiviteter enn DACCS, og tempoet i den økende utvinningen av kalkstein, bør tas i betraktning for å vurdere det reelle potensialet. Det ligger utenfor rammene av denne rapporten å ta hensyn til disse mer detaljerte begrensningene, og det vil derfor være nødvendig med fremtidige studier og intervjuer med interessenter som arbeider i kalksteinproduksjonssektoren, for å gjøre en grundig analyse.

Det er to andre viktige aspekter som bør fremheves når man skal anslå et mer realistisk potensial for havkalking i Norge:

1. Produksjon av CaO fra kalkstein fører i seg selv til produksjon av CO₂. Denne CO₂ må fanges og lagres i undergrunnen for at prosessen skal være netto negativ. Dette kan være i direkte konkurranse med DACCS og Bio-CCS, som begge krever CO₂ lagringssteder. Det er nødvendig med en prioriteringsstudie for å vurdere hvilken vei som fører til mest CO₂-fjerning sammenlignet med ressursene og infrastrukturen som brukes.
2. Det finnes få pilotstudier av det faktiske fangspotensialet for CO₂ i havet. De fleste studiene forutsetter en homogen alkalinitetsendring i havets overflatevann, men virkeligheten kan være en annen. Overmetning av havoverflatevann med kalsium- og karbonationer kan føre til utfelling og "reversere" CO₂ fangspotensialet. De lave vanntemperaturene om vinteren og skipstrafikken kan også påvirke alkaliniteten. Hvorvidt kalking av havet er gjennomførbart, vil sannsynligvis avhenge av tilførselsmengde, nedbørsmengde og omsetning i havoverflaten.²⁴⁶ Pilotstudier i egnede områder i Norge vil være nødvendig for å estimere et mer realistisk potensial.

I tillegg til direkte kalking av havet kan elektrokjemi bidra til å øke alkaliniteten i havet. I den elektrokjemiske prosessen for fjerning av CO₂ trekkes vann fra havet inn i en tank der elektrisitet brukes til å omorganisere vann og oppløste salter til sure og basiske komponenter. Når den basiske løsningen føres tilbake til havet, kan det bidra til å øke alkaliniteten i havvannet, noe som fører til økt opptak av CO₂. Det forskes for tiden på bruken av den sure løsningen som produseres i denne prosessen. Det er identifisert flere bruksområder for den sure løsningen, men de er ennå ikke testet i pilotskala.

Det teoretiske potensialet for elektrokjemisk fjerning av CO₂ er enormt, samtidig som man kun bruker elektrisitet og sjøvann som hovedressurser. Foreløpig finnes det svært lite informasjon om hvor stort landareal som kreves for å etablere et pilotanlegg, eller hvor stort landareal som kreves per tonn CO₂ som fjernes fra atmosfæren. Behovet for elektrisitet varierer også drastisk i de artiklene som presenterer denne prosessen. Selv om den allerede er demonstrert i laboratorieskala, er det nødvendig med pilottesting for å få et godt estimat på elektrisitetsbehovet for denne prosessen, under norske værforhold. Samlokalisering av havvindproduksjon og elektrokjemiske anlegg har blitt presentert som en ny idé som kan øke den fornybare energikapasiteten i landet, samtidig som CO₂ fjernes fra atmosfæren. Slike ideer er for tiden under utvikling, men det vil kreve betydelig forskning for å vurdere det realistiske potensialet.²⁴⁷ På grunn av lite tilgjengelige data er det teoretiske potensialet for elektrokjemisk fjerning av CO₂ i Norge ikke estimert i denne rapporten. Norge, med sitt store kystområde, kan vise seg å være et ideelt testområde for elektrokjemisk CO₂-fjerning. Videre må effekten på økosystemene av økt alkalinitet i havet studeres på det stedet der det skal implementeres, for å gi mer informasjon om i hvilken skala det kan tas i bruk.

5.6. Optimalisering av utvalgte CDR-metoder i en casestudie

Det er åpenbart at ikke all tilgjengelig overskudds elektrisitet og termisk energi vil bli allokeret til CDR-drift. Estimatenes for overskudds elektrisitet varierer også betydelig fra kilde til kilde. Selv om en omfattende optimalisering av alle CDR-alternativer ligger utenfor rammene av denne rapporten, er det gjennomført to casestudier for å optimalisere bio-CCS, S-DAC og L-DAC, som er identifisert som de mest relevante teknologiske CDR-metodene for implementering i Norge. I de følgende kapitlene beskrives disse casestudiene og deres respektive funn, med fokus på de «lavthengende fruktene» blant de vurderte CDR-metodene.

²⁴⁶ Renforth, P. et al. (2013). Engineering challenges of ocean liming. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213006816

²⁴⁷ Sharifian, R. et al. (2020). Electrochemical carbon dioxide capture to close the carbon cycle. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2021/ee/d0ee03382k>

Begge casestudiene har ulike forutsetninger om ressursdisponering til CDR-formål. Forutsetningene om hvor stor prosentandel av overskuddselektrisitet og termisk energi som kan dedikeres til CDR-formål, har til hensikt å fremheve viktigheten av å dedikere energiresurser til CDR, og vise potensialet for CDR hvis slike energiresurser gjøres tilgjengelige for drift av CDR.

Casestudie 1

De lave estimatene for tilgjengelighet av elektrisitet og termisk energi (se kapittel 5 for mer informasjon) er vurdert i den første casestudien. Når det gjelder elektrisitet, er 50% av det tilgjengelige elektrisitetsoverskuddet avsatt til CDR. På den annen side forblir allokeringen av termisk energi til fjernvarme og fjernkjøling relativt stabil (som presentert i kapittel 2.1), med et potensial for økt elektrifisering. I den første casestudien antas det derfor at opptil 75% av den overskytende termiske energien kan brukes til CDR. Gitt at Bio-CO₂ er en lavhengende frukt for Norge, blir denne teknologien implementert i sin fulle bredde som presentert i kapittel 5.2, og eventuell overskuddsenergi allokeres til implementering av både S-DAC- og L-DAC-teknologier. S-DAC prioriteres høyere, med tanke på at S-DAC er velkjent på Island, et land med lignende (om enn kaldere) klimatiske forhold som Norge.

	2030 (Mt CO ₂ /år)	2040 (Mt CO ₂ /år)	2050 (Mt CO ₂ /år)
Potensial for bio-CO ₂	1.8 – 2.4	4.0 – 5.0	9.0 – 10.0
Potensial for S-DAC	2.5 – 3.0	5.0 – 6.0	10.0 – 11.5
Potensial for L-DAC	1.0 – 2.0	4.0 – 5.0	2.5 – 5.0
Totalt potensial	5.3 – 7.4	13.0 – 16.0	21.5 – 26.5

De underliggende forutsetningene er at 50% av elektrisiteten fra "lavscenarioet" og 75% av den termiske energien er tilgjengelig for bio-CCS, S-DAC og L-DAC. Se kapittel 5 for ressursforutsetninger

Tabell 18: Optimalisering av bio-CCS, S-DAC og L-DAC i casestudie 1

Casestudie 2

De høye estimatene for tilgjengelighet av elektrisitet og termisk energi (se kapittel 5 for mer informasjon) er vurdert i den andre casestudien. Når det gjelder elektrisitet, antas det at 50% av den tilgjengelige elektrisiteten allokeres til CDR. Behovet for termisk energi forventes å bli dekket med en kombinasjon av tilgjengelig termisk overskuddsenergi og elektrisitet. Gitt at Bio-CO₂ er en lavhengende frukt for Norge, er denne teknologien implementert i sin fulle bredde som presentert i kapittel 5.2. Eventuell overskuddsenergi fordeles likt mellom S-DAC og L-DAC. Tabell 19 nedenfor oppsummerer potensialene som er estimert i Casestudie 2.

	2030 (Mt CO ₂ /år)	2040 (Mt CO ₂ /år)	2050 (Mt CO ₂ /år)
Potensial for bio-CO ₂	1.8 – 2.4	4.0 – 5.0	9.0 – 10.0
Potensial for L-DAC	0.5 – 1.5	4.0 – 4.5	8.5 – 10.5
Potensial for S-DAC	0.5 – 1.8	4.0 – 5.5	10.5 – 11.5
Totalt potensial	2.8 – 5.7	12.0 – 15.0	28.0 – 32.0

Underliggende forutsetninger er at 50% av elektrisiteten fra "høyscenarioet" er tilgjengelig for bio-CCS, S-DAC og L-DAC-drift. Se kapittel 5 for ressursforutsetninger.

Tabell 19: Optimalisering av bio-CCS, L-DAC og S-DAC i casestudie 2

Casestudiene illustrerer at ved å bruke opptil 50% av overskuddet av elektrisitet til DACCS i tillegg til implementering av bio-CCS, vil man kunne fjerne mellom 20 og 30 Mt CO₂ fra atmosfæren årlig innen 2050. Selv om det er behov for en nærmere vurdering av muligheten for å bruke disse ressursene til DACCS, tyder funnene på at Norge har potensial til å utvide innsatsen utover implementering av bio-CCS og bli en sentral aktør innen CDR i hele Europa.

6. Evaluering av CDR i forhold til Norges klimamål

CDR metode	Teoretisk potensial i tidsperspektivet (Mt CO ₂)	Sammendrag av tidshorisont og forutsetninger	Behov for ytterligere vurdering
DACCS – S-DAC	2030: 2 – 14 2040: 6 – 43 2050: 9 – 88	Potensial per år – for alle scenarier samlet	Overvåking av ny kapasitet for elektrisitet og termisk energi er viktig for å utvikle et mer realistisk potensial. Det er nødvendig med pilottesting for å vurdere egnede områder (basert på klimatiske forhold) for å finne områder for utplassering av DACCS. Ytterligere analyser av elektrokjemisk DACCS, mineral looping DACCS og humidity swing DACCS er nødvendig når det er utført flere tester av disse teknologiene.
DACCS – L-DAC	2030: 2 – 11 2040: 5 – 34 2050: 8 – 71	Potensial per år – for alle scenarier samlet	
Bio-CCS	2030: 1.8 – 2.4 2040: 4.0 – 5.0 2050: 9.0 – 10.0	Potensial per år – for alle scenarier samlet	Vurdere om den ekstra kapasiteten kan innlemmes i eksisterende anlegg som bruker biomasse, eller om det må etableres nye anlegg. Det er behov for en nærmere vurdering av areal- og infrastrukturbehov for BECCS.
Biokull	2030: 0.8 – 1.1 2040: 1.6 – 2.3 2050: 3.2 – 4.6	Potensial per år – for alle scenarier samlet	Etter hvert som mer informasjon om areal og andre infrastrukturkrav for biokull blir tilgjengelig, kan man vurdere hvilke områder som egner seg for etablering av pyrolyseanlegg.
CEW	1 – 7	Estimat for en batchprosess – uklart om potensialet kan oppnås årlig eller sjeldnere/hyppigere. Forutsatt at 2-10 % av strandlinjen er tilgjengelig.	Pilotprosjekter er nødvendige for å vurdere hvor raskt CO ₂ kan fjernes fra CEW-prosessen og hvor godt egnet den er for norsk kystlinje.
TEW	3.5 – 4.4	Estimat for en batchprosess – uklart om potensialet kan oppnås årlig eller sjeldnere/hyppigere. Forutsatt at all dyrkbar mark er brukt og spredningstetthet rundt 2 kt basalt per km ² .	Pilotprosjekter er nødvendige for å vurdere hvor raskt CO ₂ kan fjernes fra TEW-prosessen og hvor godt egnet den er for norske forhold.
Skogplantning eller påskoging	Ikke estimert	–	Mellom 1,990 og 9,780 km ² land kan være tilgjengelig for skogplantning eller gjenplantning av skog. Dette kan sammenlignes med arealet som mottar støtte til skogplantning/påskoging for å anslå potensialet.
Oppdrett av tare	6 – 9 Mt CO ₂	Potensial per år innen 2050 – Forutsatt en tangproduksjon på 20 kt/km ² /år innen 2050	Det er behov for mer geografisk forskning for å vurdere hvilke områder som kan brukes til tare dyrking. Det er behov for mer forskning for å vurdere CO ₂ binding ved hjelp av biokull og lagring av tare på havbunnen.
Havkalking	4 – 5 Mt CO ₂	Estimat for en batchprosess – Forutsatt overskudd av elektrisitet og termisk energi som brukt i "lavt scenario – 2030" for DACCS-estimering	Det er nødvendig med pilotprosjekter for å vurdere hvor raskt CO ₂ kan fjernes fra havkalkingsprosessen.

CDR metode	Teoretisk potensial i tidsperspektivet (Mt CO ₂)	Sammendrag av tidshorisont og forutsetninger	Behov for ytterligere vurdering
Elektrokjemisk fjerning av CO ₂	Ikke estimert	–	Det teoretiske potensialet er enormt, samtidig som man kun bruker elektrisitet og sjøvann som hovedressurser. Norge, med sitt store kystområde, kan vise seg å være et ideelt testområde for elektrokjemisk CO ₂ -fjerning.

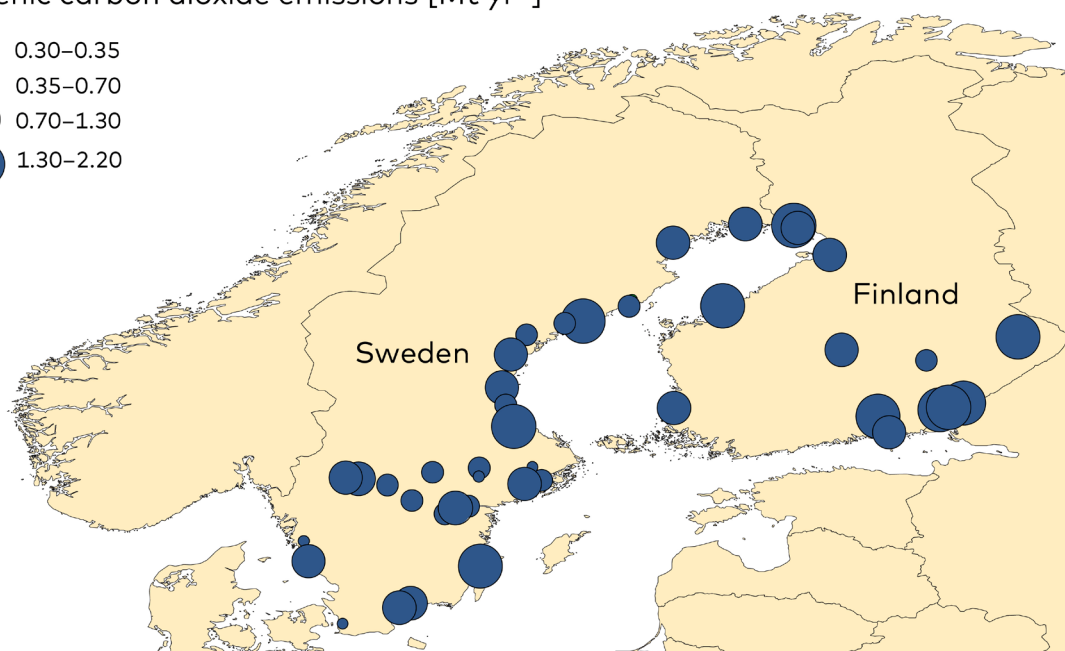
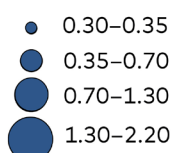
Tabell 20: Oppsummering av estimert teoretisk potensial i Norge for vurderte CDR-metoder.

Basert på det estimerte teoretiske potensialet rangeres bio-CCS og DACCS høyere enn andre CDR-metoder, siden de er teknologisk mer avanserte, og reduksjonene er mer sporbare sammenlignet med naturbaserte løsninger.

Mens casestudiene fokuserer på bio-CCS og DACCS, er tareoppdrett en annen CDR-metode som er svært relevant for Norge på grunn av landets erfaring med tareproduksjon og tilgangen på havområder for tareoppdrett. Gjenplantning av skog har også et godt potensial i Norge, forutsatt at skogens helsetilstand overvåkes godt. Denne rangeringen er relativt i tråd med funnene fra workshopen, der interessentene prioriterte bio-CCS, DACCS, skogplantning, forbedret skogforvaltning, biokull og blått karbon (eller tareoppdrett) som de mest politisk relevante CDR-metodene for Norge. Interessentene tok også opp spørsmålet om varighet når det gjelder skogplantning og forbedret skogforvaltning.

På grunn av de mange bio-CO₂ kildene som finnes i Norge, er bio-CCS en "lavthengende" mulighet for Norge. Hvis biomasseproduksjonen optimaliseres, slik det presenteres i SINTEF-rapporten, kan bio-CCS-potensialet og produksjonen av biokull forbedres betydelig i Norge. Et samarbeid om bio-CCS på nordisk nivå har også et betydelig potensial, ettersom Sverige og Finland begge har rikelig med kilder til bio-CO₂. Lagringssteder i Norge kan brukes til å lagre bio-CO₂ fra Norden.

Biogenic carbon dioxide emissions [Mt yr⁻¹]



Figur 42: Bio-CO₂ kilder i Sverige og Finland²⁴⁸

²⁴⁸ Nordic Council of Ministers. (2021). Policies for the promotion of Bio-CCS in the Nordic countries. www.norden.org/en/publication/policies-promotion-beccs-nordic-countries

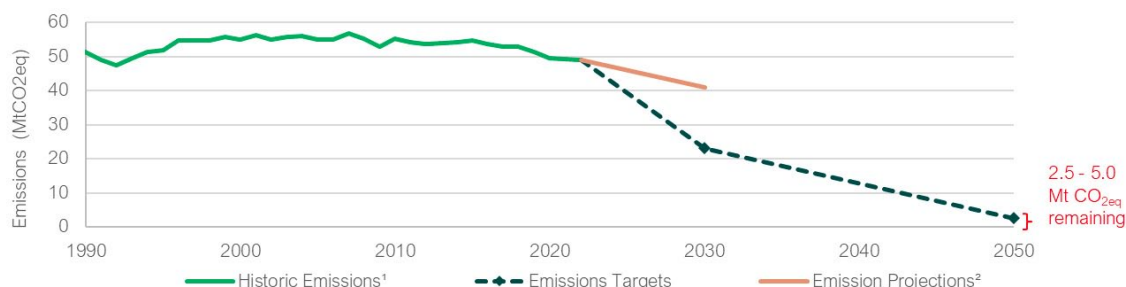
Implementering av DACCS, spesielt S-DAC og L-DAC, har et betydelig potensial i Norge, forutsatt at produksjonen av elektrisitet og termisk energi øker i landet. Norge har et betydelig potensial for å øke sin kapasitet innen fornybar energi. Utviklingen av CDR-metoder er i stor grad avhengig av tempoet i utbyggingen av fornybar energikapasitet i landet. Ved å sette i gang pilotprosjekter i områder med egnede værforhold vil man kunne vurdere det realistiske potensialet for DACCS i landet.

Tare dyrking er en annen lovende CDR-metode for Norge, med potensial for betydelig skalering. Nord-Norge, med sitt kjølige sjøvann og lange dagslys om sommeren, tilbyr ideelle forhold for tareproduksjon.²⁴⁹ Selv om landet har en betydelig havbunn som kan brukes til tare dyrking, må konkurrerende bruk av denne havbunnen og vannveien utforskes for å estimere et realistisk potensial for CO₂-fjerning.

Skogplanting har derimot et stort omfang, men samtidig stor variabilitet når det gjelder CO₂-fjerning i Norge. Den norske regjeringen er i ferd med å utarbeide en tilskuddsplan rettet mot skogplanting på gjengroende og inaktive jordbruksarealer. I tillegg er en ny støtteordning som gir tilskudd til skogplanting på nye områder, under vurdering i Norge.²⁵⁰ Det er lite sannsynlig at ytterligere skogplanting og påskoging vil kunne iverksettes i Norge (utover det som allerede er planlagt av den norske regjeringen), med tanke på de vanskelighetene som er identifisert i pilotfasedokumentet som presenteres i kapittel 5.4.

Hvordan relaterer disse funnene seg til Norges plan for utslippsreduksjoner?

Figur 43 viser historiske utslipp i Norge, samt fremtidige mål for utslippsreduksjon og utslippsprognoser basert på eksisterende klimapolitikk. Dagens prognoser anslår at Norge med dagens nasjonale klimapolitikk kun vil oppnå en utslippsreduksjon på 20% innen 2030, i motsetning til det nasjonale målet på 55%. Basert på de utslippsreduksjonsmålene Norge har satt seg, vil Norge innen 2050 fortsatt ha 2,5–5 Mt CO₂ ekvivalenter å redusere for å nå netto nullutslipp. Dette er en relativt liten mengde med tanke på det høye CDR-potensialet i Norge. En kombinasjon av det lavhengende bio-CCS-potensialet og Norges skogplantingsplan kan være tilstrekkelig for å nå netto nullutslipp.



² Utslippene i 2030 er anslått basert på eksisterende norsk klimapolitikk som ble sendt inn til Det europeiske miljøbyrået i 2021. Kilde: Climate Action Tracker. <https://climateactiontracker.org/countries/norway/targets>

³ Inkluderer utgifter til beskyttelse av luft og klima i offentlig forvaltning under: kjøp av varer og tjenester, lønnskostnader, kapitalslit, miljøverninvesteringer, overføringer til utlandet, andre overføringer og subsidier. Kilde: SSB. <https://ssb.no/statbank/table/12456/tableViewLayout1>

Figur 43: Historiske utslipp, utslippsprognoser og utslippsmål i Norge fra 1990 til 2050

Men det betydelige CDR-potensialet i Norge kan bidra til at landet går lenger enn netto nullutslipp og fjerner mer CO₂ fra atmosfæren, forutsatt at infrastrukturen også utvikles i det tempoet som kreves for å ta i bruk CDR. For å sette utslippene i kontekst: Norges olje- og gass eksport anslås å generere 400–500 Mt CO₂ av forbrenningsutslipp i importlandene.²⁵¹ Dette er svært mye sammenlignet med Norges årlige utslipp. På grunn av potensialet for lagringskapasitet for CO₂ kan Norge også være nettoimportør av CO₂ for å bidra til å lagre CO₂ som er fjernet/fanget i andre land. Dette understreker hvor viktig det er å tilpasse politikken og forbedre infrastrukturen for å utnytte Norges betydelige kapasitet for CO₂-håndtering og bidra effektivt til den globale innsatsen for å begrense klimaendringene.

²⁴⁹ The Nofima notebook. (2020). Kelp farming: a great opportunity for northern Norway and the world.

<https://thefishsite.com/articles/kelp-farming-a-great-opportunity-for-northern-norway-and-the-world>

²⁵⁰ Landbruksdirektoratet. (2023). Jord og jordhelse. www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/miljo-og-klima/jord-og-jordhelse

²⁵¹ Only CO₂ emissions associated with burning natural gas, assuming 90% natural gas purity and 100% combustion. Between 1.6 to 2.2 kg CO₂ assumed to be emitted per m³ of natural gas.

Vedlegg 1: Mer informasjon om produksjon og forbruk av termisk energi i Norge

I 2028 brukte husholdningene og tjenesteytende næringer henholdsvis ca. 38 TWh og 16 TWh energi til oppvarming og kjøling. Industrisektoren brukte ca. 19 TWh til oppvarming og kjøling i 2018, og over 50% av varmen kom fra fossile brensler.²⁵² Varmen som produseres til fjernvarme og fjernkjøling, kommer derimot hovedsakelig fra bioenergi – avfall (45%) og fra bark, flis og trevirke (35%). I 2009, da det ble innført deponiforbud, ble det etablert mange nye avfallsforbrenningsanlegg og fjernvarmeanlegg. I 2022 ble det levert 6.7 TWh fjernvarme til forbrukere.²⁵³

Den geotermiske kapasiteten som er installert i Norge i dag, bruker bergvarmepumper (GSHP) til å levere varme direkte til brukerne. I boligbygg anses det som dyrt å konvertere fra elektrisk oppvarming eller fjernvarme til bergvarmepumper. Derfor forventes det at investeringene i utvidelse av geotermisk kapasitet i Norge vil være lave.²⁵⁴ Selv om det vurderes å gjenbruke forlatte hydrokarbonbrønner til geotermisk energiproduksjon for delvis elektrifisering av offshoreindustrien, konkurrerer dette direkte med elektrifisering av plattformer via vindkraft til havs eller direkte kabler fra land i Norge. Fokuset og forskningen innen geotermisk energi i Norge er for tiden rettet mot å forbedre effektiviteten til eksisterende geotermiske anlegg og øke dybden på borehullene for å øke produksjonskapasiteten.²⁵⁵

Når det gjelder biomasse som brukes til varmeproduksjon, anslår SINTEF i en fersk rapport at det er et stort potensial for produksjon av bærekraftig biomasse ved å optimalisere bruken av eksisterende bioenergikilder i Norge.²⁵⁶ Ifølge SSB ble det i 2022 brukt ca. 26 TWh bioenergi (biodrivstoff, avfall, bruk av fjernvarme og andelen elektrisitet som kommer fra termisk energi) i Norge. Med utgangspunkt i biomasseråstoffet som SINTEF har estimert, kan bioenergibruken økes med nesten 20 TWh/år, hvis akkumuleringen av nevnte biomassekilder kan gjøres på en økonomisk og bærekraftig måte.

Biomasse kan også brukes som råstoff i smelteverksindustrien, noe som kan være en direkte konkurrent til bruk av biomasse til termisk energiproduksjon. Norsk Industri (Norsk Industri) lanserte i 2016 et veikart for avkarbonisering av prosessindustrien, der de understreker viktigheten av biomasse i avkarboniseringen. Karbon brukes vanligvis som reduksjonsmiddel i flere prosessindustrier. Teoretisk sett kan karbon fra fornybare kilder, som trekull produsert ved pyrolyse og treflis, erstatte fossilt kull. Hvis pyrolyse av biomasse er økonomisk levedyktig, kan biproduktet brukes i industrisektoren.¹⁶



© Vidar Nordli Mathisen - Unsplash

²⁵² Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). (2023). Varme. www.nve.no/energi/energisystem/termisk-energi/varme

²⁵³ Statistisk Sentralbyrå. (2023). District heating and district cooling. www.ssb.no/en/energi-og-industri/energi/statistikk/fjernvarme-og-fjernkjoling

²⁵⁴ Gehlin, Signhild. (2019). Geothermal energy use in the Nordic countries. www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/geothermal-energy-use-in-the-nordic-countries

²⁵⁵ Muller, Jiri for IEA Geothermal. (2023). 2022 Country Report Norway.

<https://iea-gia.org/about-us/members/norway/#:~:text=Norway%20is%20a%20young%20nation,GJ%20per%20year%20of%20energy.>

²⁵⁶ Carbon Limits analysis using information from SINTEF paper: Everson, N. et al. (2023). What is the potential of BioCCS to deliver negative emissions in Norway? From biomass mapping to a window of negative emissions potential.

Vedlegg 2: Multiconsults analyse av havvindpotensialet i Norge

En ny analyse fra Multiconsult for Norsk Havvind viser at det er mulig å bygge ut 338 GW havvind i Norge.²⁵⁷ Per i dag er den norske regjeringens mål 30 GW innen 2040.

Norsk Industri har brukt DNVs globale prognose, Energy Transition Outlook (ETO), og en modell for å presentere et beste estimat for elektrisitetsproduksjonen i Norge frem til 2050. Den tar hensyn til geopolitiske forhold, politiske forbedringer, teknologiutvikling og tilhørende kostnader og atferdsaspekter knyttet til utviklingen av fornybar energi i Norge.

Rapporten viser at fremtidige installasjoner på land sannsynligvis vil bli forsinket og/eller redusert på grunn av bekymringer i befolkningen, som støy, påvirkning på fugler, rekreasjon og et ønske om å bevare uberørt landskap og villmark.

I tillegg er den norske befolkningen skeptisk til å bygge ut ekstra kraftkapasitet for eksport til andre europeiske land, fordi de frykter at det vil øke de innenlandske strømprisene.

Mesteparten av vindkraftutbyggingen vil derfor skje til havs, og vil utgjøre 80% av den vindbaserte produksjonen på 200 TWh i 2050.



Kilde: Figur fra BCG,²⁵⁸ basert på informasjon fra NVE,²⁵⁹ 2023

Figur 44: 300 GW havvind mulig i de områdene som Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har foreslått

²⁵⁷ Multiconsult (2023). www.norwegianoffshorewind.no/news/new-report-possible-to-build-338-gw-of-offshore-wind-in-norway

²⁵⁸ Hjorth, R. et al. (2023). Norway's 300 GW offshore wind opportunity. <https://media-publications.bcg.com/norways-300-gw-offshore-wind-opportunity.pdf>

²⁵⁹ Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE). (2023). Identification of assessment areas for offshore wind. <https://veiledere.nve.no/havvind/identifisering-av-utredningsomrader-for-havvind/kart/interaktivt-kart>

Vedlegg 3: Tilleggsinformasjon om vannressurser i Norge

Tilstanden til Norges naturlige vannressurser, inkludert hav, kystvann og ferskvann, varierer fra “ganske god” til “god” basert på Miljødirektoratets naturindeks.²⁶⁰ Den nasjonale vannreguleringen, Vannforskriften, implementerer EUs rammedirektiv for vann for å beskytte (og om nødvendig gjenopprette til minst “god” tilstand) overflatevann- og grunnvannsressurser.^{261,262} I Norge er det installert ca. 20,000 km overvannsledninger og 39,000 km spillvannsledninger.²⁶³ Avløpsvann fra 85% av befolkningen transporteres via disse rørledningene til 2,740 avløpsrenseanlegg med en driftskapasitet på >50 personekvivalenter (Figur 45) før det slippes ut i vassdragene igjen.^{264,265}

Selv om Norges infrastruktur for vannforsyning er omfattende, er den utdatert. Omtrent 30% av det kommunale vannvolumet går tapt gjennom lekkasjer og risikerer derfor å bli forurenset fra tilstøtende avløpsledninger, og reparasjonsraten er langsom – med dagens hastighet vil det ta nesten 150 år å renovere systemet på en adekvat måte.²⁶⁶



Kilde: Miljødirektoratet, (2022)

Figur 45: Renseanlegg for avløpsvann i Norge

²⁶⁰ OECD. (2022). *OECD Environmental Performance Reviews: Norway 2022*. <https://doi.org/10.1787/59e71c13-en>

²⁶¹ Miljødirektoratet (Norwegian Environment Agency). (2020). *Wetland Restoration Plan, Norway (2021 – 2025)*. www.miljodirektoratet.no/sharepoint/downloaditem?id=01FM3LD2QC364EPMFHDAIEQVSTLB3UZRM

²⁶² Vannportalen. (2022). *Miljøsmål i vannforskriften*. www.vannportalen.no/miljomal/miljomal2

²⁶³ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2022). *Municipal wastewater*.

www.ssb.no/en/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/utslipp-og-rensing-av-kommunalt-avlop

²⁶⁴ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2022). *11641: Number of wastewater facilities and accompanying inhabitants, by region, compliance with treatment permits, contents and year*. www.ssb.no/en/statbank/table/11641/tableViewLayout1

²⁶⁵ Statistisk sentralbyrå (Statistics Norway). (2018). *Kommunale avløp 2017: Ressursinnsats, utslipp, rensing og slamdisponering 2017*. Gebyrer 2018. www.ssb.no/en/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/_attachment/370465?_ts=1675fa996e8

²⁶⁶ Steinberg, M. and Hyllestad, S. for the Norwegian Institute of Public Health. (2017). *Drinking water in Norway*. www.fhi.no/en/he/hin/infectious-diseases/drinking-water-in-Norway/?term=

Vedlegg 4: Tilleggsinformasjon om tilgjengeligheten av råstoff fra biomasseavfall

I 2019 estimerte Carbon Limits potensielle mengder biomasseråstoff fra avfall i 2030 ved først å estimere eksisterende råvarevolumer og deretter ekstrapolere verdiene ved hjelp av relevante vekstfaktorer eller mål fra ulike organisasjoner. Denne analysen ekskluderer råstoffmengder som i dag brukes til mat eller fôr. Analysen tar også høyde for en 50% reduksjon i matsvinnet innen 2030 i henhold til målene i Bransjeavtalen, en avtale som ble inngått i 2017 mellom den norske regjeringen og matindustrien for å redusere matsvinnet i landet.²⁶⁷

Et annet viktig dokument som vurderer potensialet for biomasse i Norge, er SINTEFs nye rapport om Bio-CCS-potensialet i Norge. Ved hjelp av en bottom-up-tilnærming og en vurdering av mengden bioråstoff som brukes til energiformål og andre formål, kartlegges biomassetilgangen i landet. Den presenterer den samlede biomassetilgangen i 2020 og fremskriver den frem til 2030 under ulike scenarier. Det viktigste aspektet som vurderes, er "andre" biomassemengder som teknisk sett kunne vært brukt til bioenergiproduksjon, men som i dag ikke utnyttes eller utnyttes på en måte som anses som suboptimal. For eksempel kan deler av landbruksavfallet brukes til jordforbedring, mens overskytende mengder kan integreres i Bio-CCS. SINTEF tar hensyn til biomasse som allerede brukes til andre formål enn energi, og presenterer andelen av dette råstoffet som kan være tilgjengelig for Bio-CCS. Dette estimatet kan brukes som "overskuddspotensialet" for biomasse i Norge. Som vist i Tabell 6 er potensialet som er estimert i notatet svært høyt. For å estimere et realistisk potensial må man ta hensyn til flere aspekter, som politiske forhold som muliggjør innsamling av råstoff, tilgjengeligheten til råstoffet og den økonomiske levedyktigheten til innsamlingsprosessen. Selv om det vil være utfordrende å oppnå dette potensialet innen 2030, gir estimatene et rimelig mål om å nå det innen 2040 – 2050.

SINTEF bruker en bottom-up-tilnærming for å estimere tilgjengeligheten av bioråstoff fra ulike sektorer i Norge. Type og mengde biomasse som i dag (2020 er brukt som referanseår) produseres fra ulike kilder (jordbruk, skog, havbruk, hav, matavfall osv.), inkludert rester, avfall og biprodukter, ble kartlagt. Disse omfatter (1) råstoff som i dag brukes til energiformål, og som anses å være compatible med Bio-CCS; (2) råstoffmengder som konverteres til ikke-energiprodukter (f.eks. papir, byggematerialer, fôr), og som ikke anses å være compatible med Bio-CCS; og (3) andre biomassemengder som teknisk sett kunne brukes til bioenergiproduksjon, men som i dag er utnyttet.

Etter å ha estimert det totale råstoffet, anslår SINTEF hvor stor prosentandel av dette råstoffet som kan være egnet for bruk i Bio-CCS. For eksempel spres husdyrgjødsel i dag hovedsakelig på jorder som jordforbedringsmiddel. Av både lovmessige og logistiske årsaker er det imidlertid bare begrensede mengder som kan spres, noe som gir visse muligheter for integrering med Bio-CCS, og dette anslås å utgjøre ca. 42% av det totale råstoffet. På samme måte blir en stor andel av halmen liggende igjen på åkeren for jordforbedring, siden den er rik på næringsstoffer (mineraler, nitrogen, alkalier), noe som gir et begrenset karbonpotensial for integrering i Bio-CCS (ca. 26%). Når det gjelder biomasse fra skogbruk, kan tømmer, grener og topper, som i dag blir liggende igjen i skogen hovedsakelig av økonomiske og økologiske årsaker, i stor grad integreres i Bio-CCS. Det anslås at avvirkningen av biomasse fra skogbruket kan økes med opptil 50% sammenlignet med dagens nivå, uten at skogens stående volum reduseres.

For framskrivningene til 2030 ble det brukt tre scenarier:

- "Business as usual"-scenario (BAU): 2020-situasjonen oppdateres ved å anta en årlig økning/reduksjon basert på historiske statistiske data og uendret status for bruk av biomasse;
- "Expansion"-scenarioet: i tillegg til "BAU"-scenarioet, inkluderer 1) skogen avvirket til sitt balansekvantum, 2) tang- og tareproduksjonen tar seg opp 3) brennbare avfallsfraksjoner som i dag eksporteres til Sverige antas å bli behandlet (dvs. forbrent med energigjenvinning) i Norge
- "Bio-CCS-drevet ekspansjon"-scenario: der de ovennevnte hendelsene finner sted, men utelukkende er motivert av Bio-CCS, og der all ekstra biomasse fra avvirkningen av skogen er integrert med Bio-CCS.

²⁶⁷ Landbruksdirektoratet (Norwegian Directorate of Agriculture). (n.d.). Matsvinn. www.landbruksdirektoratet.no/nb/jordbruk/miljo-og-klima/matsvinn

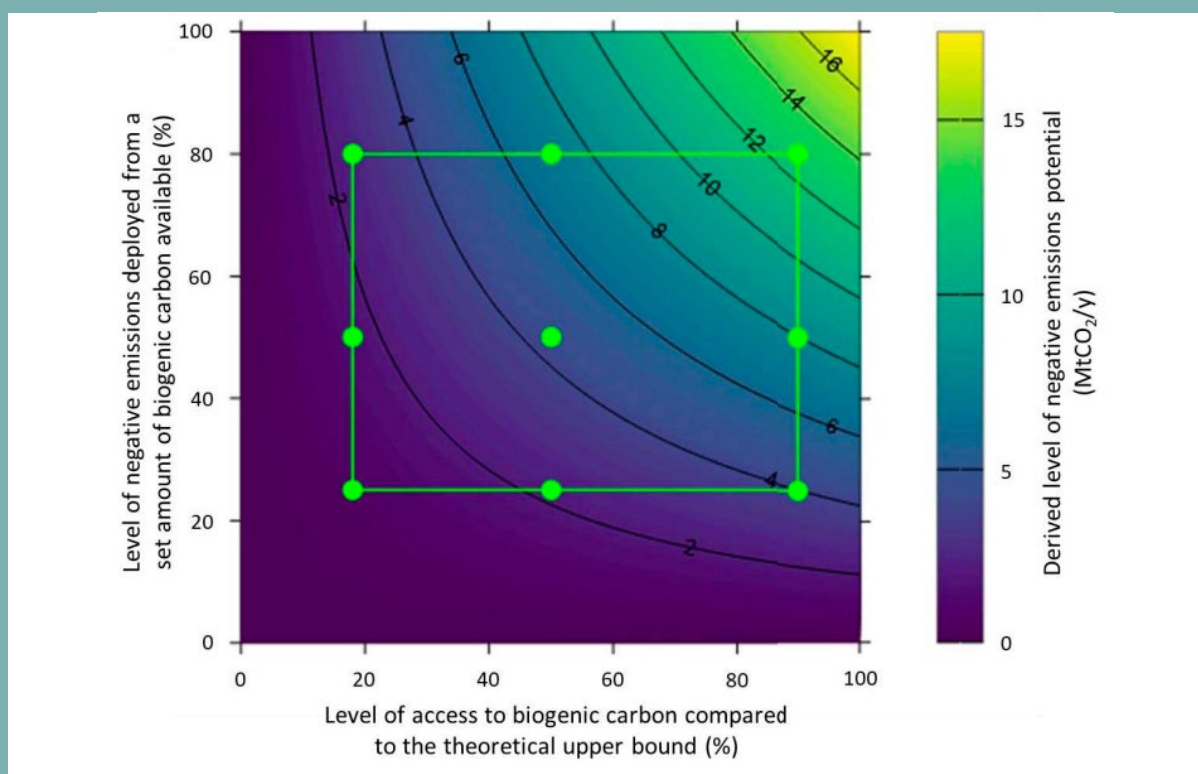
Ved hjelp av den estimerte tilgangen på bioråstoff og negative utslipp bruker SINTEF to kategorier som påvirker realiseringen av dette maksimale potensialet: 1) nivået på tilgangen til biogent karbon sammenlignet med den teoretiske øvre grensen (X-aksen) og 2) nivået på negative utslipp fra en bestemt mengde tilgjengelig biogent karbon (Y-aksen). Den sosiale aksepten for bruk av biomasse og utfordringer knyttet til konkurranse er tatt med i det første punktet, og politiske utfordringer er tatt med i det andre punktet. 3 nivåer ble vurdert for hver kategori som definert nedenfor. Resultatene av å integrere tilgjengelig råstoff med de to kategoriene er presentert i Figur 1.

Kategori 1:

- 90% av det samlede biogene karbonet er tilgjengelig, med svært liten konkurranse om biomassen
- 18% av det samlede biogene karbonet er tilgjengelig, hvis man kun tar hensyn til «lavthengende frukter», det vil si biomasser som allerede er integrert i bioenergiproduksjon,
- 50% av det samlede biogene karbonet er tilgjengelig, for å representere et mellomtilfelle.

Kategori 2:

- 80% tilsvarer et teknisk, økonomisk og politisk rammeverk som er svært gunstig
- 25 % tilsvarer et rammeverk med begrensede insentiver for Bio-CCS,
- et mellomliggende rammeverk som resulterer i 50% på negative utslipp.



Kilde: SINTEF, 2023

Figur 46 Avledet negativt utslippspotensial som funksjon av (1) nivået på tilgangen til biogent karbon og (2) nivået på negative utslipp fra en gitt mengde tilgjengelig biogent karbon

Vedlegg 5: Engasjement fra innbyggerpanelet i Norge

Informasjonen i dette vedlegget er hentet fra rapporten om innbyggerworkshopen, utarbeidet av Teknologirådet. Her presenteres nøkkelinnsikter som er relevante for denne rapporten. Vi takker Teknologirådet for informasjonen som presenteres her.²⁶⁸

Under gruppediskusjonene ble deltakerne stilt følgende spørsmål:

- Hva er deltakernes primære eller generelle meninger om CDR?
- Hva er deltakernes holdninger til ulike CDR-metoder når de knyttes til konkrete formål, konsekvenser og risikoer?
- Vektlegger deltakerne ulike (etiske) hensyn i forhold til hverandre?
- Er det andre hensyn som er viktigere for deltakerne enn de som ble diskutert?

Nedenfor følger en **oppsummering av de viktigste resultatene av disse diskusjonene**.

- De fleste deltakerne var positive til ulike CDR-teknologier, men mange syntes teknologiene var komplekse og hadde begrenset kunnskap om dem. Noen få deltakere var uinteresserte og tvilte på menneskets innflytelse på klimaendringene. Ingen av CDR-teknologiene ble sett på som 100% foretrukne eller absolutt bekymringsfulle.
- Det ble uttrykt bekymring for om CDR-teknologiene er klare til å tas i bruk, og om kunnskapen er tilstrekkelig for å ta beslutninger om implementering. Kostnadsinformasjon, inkludert energikostnad per tonn CO₂ fjernet i Norge, ble ansett som avgjørende for beslutningstaking. Pilotprosjekter og forskning er nødvendig for å forstå fordeler, ulemper og konsekvenser av ulike CDR-metoder.
- Noen deltakere uttrykte bekymring for konkurranse om arealbruk, energibruk og kapitalinvesteringer ved implementering av ulike CDR-alternativer. Samtidig argumenterte flere for betydelige investeringer i CDR-teknologier, gitt klimakrisen og Norges sterke økonomi.
- Havrelaterte CDR-metoder, som gjødsling av havet og økt alkalinitet i havet, ble sett på som svært usikre med potensielt ukjente konsekvenser. Potensialet i disse metodene ble anerkjent, men risikoen for irreversible endringer ble også påpekt.
- "Vinn-vinn"-teknologier som både reduserer utslipp og produserer energi ble foretrukket. BECCS ble fremhevet på grunn av Norges tilgang til biomasse og geologisk lagringskapasitet.
- Biokull kombinert med skogplanting var et annet foretrukket alternativ, men det ble uttrykt bekymring for konsekvensene for arealbruk.
- Naturbaserte løsninger ble generelt sett på som relevante for Norge, men potensialet for skogplanting og påskoging ble sett på som begrenset. Noen deltakere uttrykte bekymring for dårlig skogbrukspraksis og fremmede arter som kan påvirke biologisk mangfold.
- Restaurering av våtmarker ble særlig fremhevet på grunn av mange fordeler og teknologisk beredskap.
- Industrielle løsninger som DACCS ble sett på som mindre invasive, men energi- og vannintensive. Kombinasjonen av DACCS med fornybare energikilder som sol og vind ble diskutert, og det ble nevnt et konkurransefortrinn for geologisk CO₂-lagring ved bruk av eksisterende olje- og gassinfrastruktur.
- Flere deltakere understreket viktigheten av å måle effekten av CDR-teknologiene og sørge for bærekraftig arealbruk.
- Det ble også påpekt at Norge har et moralsk ansvar som oljeproduserende og velstående land for å utvikle CDR-teknologier. Karbonfjerning må være en del av bredere samfunnsendringer, inkludert forbruk og transport. Offentlige utgifter til CDR ble ansett nødvendige til tross for høye kostnader. Noen deltakere fremhevet Norges potensial for å finansiere og utvikle CDR-teknologier for global implementering.

²⁶⁸ For deltakerprofiler og detaljerte resultater fra innbyggerworkshopen, vennligst kontakt Carbon Gap.

- Deltakerne fremhevet at samarbeid mellom myndigheter, samfunn og enkeltpersoner er nødvendig for å lykkes med å implementere CDR.

Dette dokumentet er utarbeidet for å gi en oversikt over Norges potensial for å implementere teknologier for fjerning av karbondioksid (CDR). Siden de fleste av teknologiene som presenteres i denne rapporten fremdeles er i de tidlige utviklingsstadiene, gir vurderingen kun et estimert potensial på høyt nivå. Metodene som er brukt i rapporten baserer seg på teoretiske estimer, og det kan forventes at flere utfordringer ikke er blitt tatt med eller er identifisert som fremtidig forskningsområde på dette stadiet.

Det er behov for videre forskning og analyse gjennom pilotprosjekter i Norge for å forstå det realistiske potensialet og konsekvensene av å implementere CDR i landet. Bakgrunnsrapporten er ment å bli brukt som kunnskapsgrunnlag for beslutningstakere og interessenter involvert i utviklingen av CDR i Norge.

Carbon Limits AS og Perspectives Climate Research gGmbH påtar seg ikke noe ansvar for bruk av denne rapporten eller dens innhold, herunder eventuelle handlinger eller beslutninger tatt på grunnlag av slik bruk.

Denne rapporten er utarbeidet av **Carbon Limits AS** og **Perspectives Climate Research gGmbH** for **Carbon Gap**

Prosjektleder: Irina Ålund (Carbon Limits)

Kvalitetssikring: Gaëlle Cauchois (Carbon Limits)

Prosjektmedlemmer (Carbon Limits): Malavika Venugopal (Task Lead),
Anastasia Isaenko, Irina Semykina, Lauren Selleck, Marton Volstad, Valentin Gentile

Prosjektmedlemmer (Perspectives Climate Research): Malte Winkler (PM),
Matthias Honegger (QC), Olivia Wallis, Matthias Poralla, Paulien Veen

Om oss



Carbon Gap

Carbon Gap ble opprettet for å være Europas første filantropisk finansierte miljøorganisasjon som utelukkende fokuserer på fjerning av karbondioksid (CDR). Oppdraget er enkelt: å gjøre alt som skal til for å sikre at Europa blir ledende når det gjelder å utvikle og ta i bruk CDR-løsninger i stor skala på en trygg og rettferdig måte for å bevare et stabilt klima. Carbon Gap koordinerte gjennomføringen av prosjektet som resulterte i denne rapporten.

www.carbongap.org

CARBON LIMITS

Carbon Limits AS

Carbon Limits samarbeider med offentlige myndigheter, private selskaper, finansinstitusjoner og ikke-statlige organisasjoner for å redusere klimagassutslipp fra en rekke sektorer. Teamet vårt bistår kunder med å identifisere, utvikle og finansiere prosjekter som reduserer klimaendringene og skaper økonomisk verdi, i tillegg til å gi råd om utforming og implementering av klima- og energipolitikk og -reguleringer. Carbon Limits er et konsulentselskap med base i Oslo.

www.carbonlimits.no



Perspectives Climate Research gGmbH

Perspectives Climate Research gGmbH ("Perspectives") støtter både private selskaper og offentlig sektor på flere områder knyttet til begrensning av klimaendringene. Perspectives er internasjonalt anerkjent for sine innovative resultater av høy kvalitet på mange områder innen internasjonal klimapolitikk. Med mer enn to tiår med verdensomspennende forsknings- og konsulenterfaring innen ulike temaer kan selskapet tilby dyp innsikt og omfattende politisk og økonomisk kunnskap på en svært fleksibel og kundeorientert måte.

<https://perspectives.cc>