

# Karbonfjerning i Oslo – potensial i 2040

Juni 2026

CARBON LIMITS

Denne rapporten er utarbeidet av Carbon Limits AS for Oslo kommune

**Prosjektnavn:**

Karbonfjerning i Oslo – potensial i 2040

---

|                           |                                          |
|---------------------------|------------------------------------------|
| <b>Kunde:</b>             | Oslo kommune                             |
| <b>Prosjektleder:</b>     | Irina Ålund                              |
| <b>Kvalitetssikring:</b>  | Gaëlle Bureau                            |
| <b>Prosjektmedlemmer:</b> | Samuel Voorwalt<br>Sarah Palhol          |
| <b>Rapporttittel:</b>     | Karbonfjerning i Oslo – potensial i 2040 |
| <b>Versjon:</b>           | Endelig rapport                          |

---

## CARBON LIMITS

Stensberggata 27  
NO-0170 Oslo  
Norge  
carbonlimits.no  
+47 988 457 930

Carbon Limits works with public authorities, private companies, finance institutions and non-governmental organizations to reduce greenhouse gas emissions from a range of sectors. Our team supports clients in the identification, development, and financing of projects that mitigate climate change and generate economic value, in addition to providing advice on the design and implementation of climate and energy policies and regulations.

## Disclaimer

Denne rapporten kan inneholde innhold som er støttet av generative verktøy for kunstig intelligens. Carbon Limits bruker alltid faglig skjønn og kvalitetssikringsprosesser for å verifisere nøyaktigheten og påliteligheten av alt innhold.

## Sammendrag

Oslos klimastrategi mot 2030 setter et mål om at byen skal bli karbonnegativ, og erkjenner at selv betydelige utslippsreduksjoner alene ikke vil være tilstrekkelig, og at permanent fjerning av karbondioksid (CDR) er nødvendig for å håndtere gjenværende utslipp. Klimaetaten er nå i gang med å utvikle en ny klimastrategi mot 2040 og har gitt Carbon Limits i oppdrag å kartlegge det realistiske CDR-potensialet innenfor Oslos kommunegrenser i dette tidsperspektivet.

CDR refererer til målrettede aktiviteter som fanger CO<sub>2</sub> fra biogene kilder, sjøvann eller direkte fra omgivelsesluften, og lagrer det permanent gjennom biologiske, geologiske eller mineralbaserte prosesser. Denne studien fokuserer primært på teknologier og metoder som fører til permanent karbonfjerning (CDR), men inkluderer også karbonlagring i tre brukt i bygg som en separat kategori for langvarig, men ikke permanent, karbonlagring. Alle de ni CDR-teknologiene vurderes opp mot Oslos spesifikke ressursgrunnlag, infrastrukturforhold og urbane begrensninger.

### Oslos CDR kontekst

Oslos urbane karakter, det vil si høy befolkningstetthet, begrenset areal, en lukket fjord og et begrenset strømmnett i perioder med høy vinterbelastning, hindrer implementering av flere CDR-teknologier i meningsfull skala. Samtidig har byen reelle fortrinn, inkludert konsentrerte biogene CO<sub>2</sub>-punktkilder knyttet til avfallsforbrenningssystemet, samt fremvoksende CO<sub>2</sub>-transport- og havneinfrastruktur på Sjursøya som gir tilgang til geologisk CO<sub>2</sub> lagring med Northern Lights sin transport- og lagringsinfrastruktur fra 2029.

### Teknologivurdering

Ni CDR-teknologier er vurdert opp mot tre kriterier: teknologisk modenhet (TRL  $\geq$  6), lagringsvarighet og kompatibilitet med tilgjengelige ressurser i Oslo. Fire teknologier er ekskludert fra kvantitativ potensialvurdering da de anses som ikke relevante for Oslo:

- Forsterket forvitring (Enhanced Weathering): lav teknologisk modenhet (TRL 3-4), utilstrekkelig landareal, ingen lokal mineraltilgang, samt støvrelaterte utfordringer i tettbebygde områder
- Blått karbon: svært begrenset potensial gitt liten og økologisk sårbar kystlinje, samt underutviklede MRV-metoder
- Økt alkalinitet i havet (OAE): lav teknologisk modenhet (TRL 1-2), Oslofjorden har ikke tilstrekkelig vannsirkulasjon
- DOCCS: lav teknologisk modenhet (TRL 2), krever åpne havområder og industrielle kystforhold

Som følge av dette er fem teknologier inkludert i potensialberegningen for 2040: BECCS, biokull, mineral karbonatisering, tre i bygg og DACCS.

### CDR-potensial i Oslo i 2040

CDR-potensialet er estimert ved hjelp av en bottom-up-metodikk basert på ressursbegrensninger, med både et maksimalt teknisk scenario og et mer realistisk scenario inkludert i beregningen. Kun ressurser som ikke allerede er bundet til eksisterende anvendelser, er inkludert. Ressurser som allerede er allokert til en bestemt CDR-løsning (for eksempel, bio-CO<sub>2</sub> ved Klemetsrud), inkluderes kun i denne løsningen og omfordeles ikke til andre CDR-teknologier.

I det maksimale tekniske scenariet vurderes hver CDR-teknologi isolert, under antakelsen om at 100% av den tilgjengelige mengden av begrensende ressursen kan tildeles den aktuelle teknologien. De maksimale tekniske potensialene kan derfor ikke summeres på tvers av teknologier, fordi flere av metodene konkurrerer om de samme ressursene, særlig bio-CO<sub>2</sub> og biomasse. Det maksimale tekniske scenariet skal forstås som et uttrykk for øvre tekniske potensial per teknologi, ikke som et samlet gjennomførbart nivå for Oslo.

Under det realistiske scenariet, som reflekterer konkurranse om ressurser og gjennomførbarhet av CDR implementering, estimeres det samlede CDR-potensialet til ca. 460 ktCO<sub>2</sub> per år, hvorav ca. 317 ktCO<sub>2</sub> per år vurderes som permanent CDR.

Tabell 1 CDR-potensialet i Oslo i 2040

| CDR-teknologi                                      | Maks. teknisk potensial, ktCO <sub>2</sub> /år | Mer realistisk potensial, ktCO <sub>2</sub> /år | Nøkkel begrensende faktorer                                         |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| DACCS                                              | 179                                            | 0                                               | Tilgjengelig havneareal på Sjursøya, nettbegrensninger og kostnader |
| BECCS                                              | 419                                            | 283                                             | Tilgjengelige bio-CO <sub>2</sub> -strømmer                         |
| Mineral karbonatisering                            | 20                                             | 12                                              | Alkaliske industrielle restprodukter, bio-CO <sub>2</sub>           |
| Biokull                                            | 22                                             | 22                                              | Tilgjengelig lokal biomasse                                         |
| Tre i bygg                                         | 178                                            | 143                                             | Mengde tre i nye bygninger                                          |
| Totalt permanent CDR-potensial (ekskl. tre i bygg) | Må ikke summeres                               | 317                                             | -                                                                   |
| Totalt CDR-potensial (alle fem CDR-metodene)       | Må ikke summeres                               | 460                                             | -                                                                   |

Det realistiske scenariet inneholder også en betinget komponent: BECCS ved Haraldrud energigjenvinningsanlegg og Haraldrud varmesentral (ca. 120 ktCO<sub>2</sub>/år i CDR potensialet fra begge anleggene til sammen) anses å kunne implementeres innen 2040 dersom en gjennomførbarhets- eller pre-FEED-studie igangsettes rundt 2030-2031.

Tre i bygg utgjør ca. 30% av det realistiske karbonfjerningspotensialet i Oslo i 2040, noe som understreker viktigheten av å skille klart mellom total CDR og total *permanent* CDR når man setter karbonfjerningsmål.

#### Hoved begrensninger

Biogen CO<sub>2</sub> fremstår som den viktigste begrensende ressursen for permanente CDR-løsninger. Totalt tilgjengelig volum i Oslo er ca. 360 ktCO<sub>2</sub>/år, hvorav mer enn halvparten allerede er knyttet til Klemetsrud. I det maksimum tekniske scenariet overstiger samlet etterspørsel fra BECCS og mineral karbonatisering (ca. 470 ktCO<sub>2</sub>/år) tilgjengelige mengder bio-CO<sub>2</sub>; i det realistiske scenariet utnyttes hele tilgjengelige mengden bio-CO<sub>2</sub> til BECCS og mineral karbonatisering.

Biomasseressurser for biokull er også sterkt begrenset. Husholdningsavfall er allerede fullt utnyttet til eksisterende formål og vurderes derfor ikke som tilgjengelig for biokullproduksjon. I analysen er det imidlertid lagt til grunn at avløpsslam kan omdirigeres fra dagens håndtering til biokullproduksjon. Sammen med tilgjengelig treavfall og grøntavfall gir dette et samlet tilgjengelig ressursgrunnlag på om lag 29 kt tørrstoff per år for denne CDR-metoden.

Kapasiteten i strømmettet er den viktigste barrieren for utbygging av DACCS i stor skala.

#### Fastsettelse av et CDR-mål for 2040

Basert på funnene i denne studien anbefales følgende målstruktur:

- Mål for permanent CDR: ca. 200-317 ktCO<sub>2</sub>/år i permanent geologisk eller mineral lagring. Den nedre målgrensen forankres i BECCS ved Klemetsrud, supplert med mineral karbonatisering og biokull. Dersom BECCS ved Haraldrud energigjenvinningsanlegg og Haraldrud varmesentral realiseres, kan CDR-målet økes mot den øvre grensen på 317 ktCO<sub>2</sub>/år.
- Komplementær midlertidig lagring: ca. 140-170 ktCO<sub>2</sub>/år i tre brukt i bygg, rapportert separat og ikke medregnet i det permanente målet.

Oslo kommune bør sikre at ethvert CDR-mål eksplisitt skiller mellom permanent karbonfjerning og midlertidig lagring, og at den betingede karakteren av BECCS-bidraget fra anleggene på Haraldrud er tydelig kommunisert.

## Innhold

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Sammendrag .....                                                                 | iii |
| Figurliste .....                                                                 | vii |
| Tabelliste .....                                                                 | vii |
| Forkortelser .....                                                               | ix  |
| Innledning .....                                                                 | 1   |
| 1  Oslos kontekst – oversikt over tilgjengelige ressurser og infrastruktur ..... | 4   |
| 2  Oversikt over CDR-teknologier .....                                           | 6   |
| 2.1  BECCS .....                                                                 | 7   |
| 2.2  Biokull .....                                                               | 11  |
| 2.3  DACCS .....                                                                 | 17  |
| 2.4  Mineral karbonatisering .....                                               | 22  |
| 2.5  Tre i bygg .....                                                            | 26  |
| 2.6  Forsterket forvitring .....                                                 | 30  |
| 2.7  Blått karbon .....                                                          | 34  |
| 2.8  Økt alkalinitet i havet (OAE) .....                                         | 37  |
| 2.9  Direkte havbasert karbonfangst og -lagring (DOCCS) .....                    | 41  |
| 2.10  Oslo relevans - oppsummering .....                                         | 44  |
| 3  Potensialberegning .....                                                      | 46  |
| 3.1  Metodikk .....                                                              | 46  |
| 3.2  Forutsetninger for estimering av CDR-potensialet .....                      | 47  |
| 3.3  CDR-potensial i Oslo i 2040 .....                                           | 68  |
| 4  Konklusjon .....                                                              | 74  |
| 5  Litteraturliste .....                                                         | 75  |
| Vedlegg 1 – Oversikt over CDR-løsninger .....                                    | A   |
| Vedlegg 2 – CDR faktaark .....                                                   | B   |

## Figurliste

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1 Hvordan BECCS fungerer.....                                                       | 8  |
| Figur 2 Hvordan biokull fungerer.....                                                     | 13 |
| Figur 3 Hvordan DACCS fungerer .....                                                      | 18 |
| Figur 4 Hvordan mineral karbonatisering fungerer .....                                    | 23 |
| Figur 5 Hvordan karbonfjerning i tre i bygg fungerer .....                                | 27 |
| Figur 6 Hvordan forsterket forvitring fungerer .....                                      | 31 |
| Figur 7 Hvordan blått karbon fungerer .....                                               | 35 |
| Figur 8 Hvordan OAE fungerer .....                                                        | 38 |
| Figur 9 Hvordan DOCCS fungerer.....                                                       | 42 |
| Figur 10 Bio-CO <sub>2</sub> kilder i Oslo kommune og knyttet til Oslos aktiviteter ..... | 48 |
| Figur 11 Potensielt tilgjengelig areal på Sjørsøya .....                                  | 60 |
| Figur 12 Maksimalt teknisk potensial .....                                                | 68 |
| Figur 13 Realistiske scenarieresultater .....                                             | 69 |
| Figur 14 Elektrisitetsbehov knyttet til CDR implementering, 2040 .....                    | 70 |
| Figur 15 Termisk energibehov knyttet til CDR, 2040 .....                                  | 70 |
| Figur 16 Effektbehov i Oslo i 2040 per CDR-løsning .....                                  | 71 |
| Figur 17 Arealbehov knyttet til CDR implementering, 2040 .....                            | 71 |
| Figur 18 Råstoffbehov knyttet til CDR implementering, 2040 .....                          | 72 |
| Figur 19 Biogent CO <sub>2</sub> -behov knyttet til CDR, 2040 .....                       | 73 |
| Figur 20 Oversikt over teknologiske og ressursmessige krav per CDR-teknologi .....        | A  |

## Tabelliste

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 1 CDR-potensialet i Oslo i 2040 .....                                                                | iv |
| Tabell 2 Oppsummering av ressurstilgjengelighet og infrastruktur i Oslo.....                                | 5  |
| Tabell 3 Nøkkelegenskaper - BECCS .....                                                                     | 7  |
| Tabell 4 Resultater av relevansvurdering – BECCS.....                                                       | 11 |
| Tabell 5 Nøkkelegenskaper – Biokull .....                                                                   | 11 |
| Tabell 6 Resultater av relevansvurdering - Biokull .....                                                    | 16 |
| Tabell 7 Nøkkelegenskaper - DACCS .....                                                                     | 17 |
| Tabell 8 Resultater av relevansvurdering - DACCS.....                                                       | 21 |
| Tabell 9 Nøkkelegenskaper – Mineral karbonatisering .....                                                   | 22 |
| Tabell 10 Resultater av relevansvurdering – Mineral karbonatisering .....                                   | 26 |
| Tabell 11 Nøkkelegenskaper – Tre i bygg .....                                                               | 26 |
| Tabell 12 Resultater av relevansvurdering – Tre i bygg .....                                                | 30 |
| Tabell 13 Nøkkelegenskaper – Forsterket forvitring .....                                                    | 30 |
| Tabell 14 Resultater av relevansvurdering – Forsterket forvitring .....                                     | 33 |
| Tabell 15 Nøkkelegenskaper – Blått karbon.....                                                              | 34 |
| Tabell 16 Resultater av relevansvurdering – Blått karbon.....                                               | 37 |
| Tabell 17 Nøkkelegenskaper – OAE .....                                                                      | 37 |
| Tabell 18 Resultater av relevansvurdering – OAE .....                                                       | 41 |
| Tabell 19 Nøkkelegenskaper – DOCCS.....                                                                     | 41 |
| Tabell 20 Resultater av relevansvurdering – DOCCS.....                                                      | 44 |
| Tabell 21 CDR relevans - oppsummering .....                                                                 | 45 |
| Tabell 22 Oslos realistiske CDR-potensial under ulike tilordningsprinsipper - illustrative resultater ..... | 54 |
| Tabell 23 Biogene CO <sub>2</sub> -kilder i Oslo og Oslo-tilknyttede anlegg - oppsummering.....             | 55 |
| Tabell 24 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk BECCS-potensial.....                        | 59 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 25 Parametere brukt i beregningene for realistisk BECCS-potensial.....                            | 59 |
| Tabell 26 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk DACCS-potensial .....                    | 62 |
| Tabell 27 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk biokull-potensial.....                   | 63 |
| Tabell 28 Parametere brukt i beregningene for realistisk biokull-potensial.....                          | 64 |
| Tabell 29 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk potensial for mineral karbonatisering .. | 65 |
| Tabell 30 Parametere brukt i beregningene for realistisk potensial for mineral karbonatisering .....     | 65 |
| Tabell 31 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk potensial for tre i bygg .....           | 67 |
| Tabell 32 Parametere brukt i beregningene for realistisk potensial for tre i bygg .....                  | 67 |
| Tabell 33 CDR-potensial i Oslo i 2040 .....                                                              | 69 |

## Forkortelser

| Forkortelse       | Forklaring                                                               | På norsk                                                                  |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| BECCS             | Bioenergy with Carbon Capture and Storage                                | Bioenergi med karbonfangst og -lagring                                    |
| CDR               | Carbon Dioxide Removal                                                   | Fjerning av karbondioksid                                                 |
| CCS               | Carbon Capture and Storage                                               | Karbonfangst og -lagring                                                  |
| CLT               | Cross-Laminated Timber                                                   | Krysslaminert tre                                                         |
| CO <sub>2</sub>   | Carbon dioxide                                                           | Karbondioksid                                                             |
| DACCS             | Direct Air Carbon Capture and Storage                                    | Direkte luftfangst av CO <sub>2</sub> med lagring                         |
| DAC               | Direct Air Capture                                                       | Direkte luftfangst                                                        |
| DOCCS             | Direct Ocean Carbon Capture and Storage                                  | Direkte havbasert fangst av CO <sub>2</sub> med lagring                   |
| GHG               | Greenhouse gas                                                           | Drivhusgass                                                               |
| GWh               | Gigawatt-hour                                                            | Gigawatt-time                                                             |
| HVAC              | Heating, Ventilation and Air Conditioning                                | Oppvarming, ventilasjon og klimaanlegg                                    |
| IEA               | International Energy Agency                                              | Det internasjonale energibyrået                                           |
| IPCC              | Intergovernmental Panel on Climate Change                                | FNs klimapanel                                                            |
| kt                | Kilotonnes                                                               | Kilotonn                                                                  |
| ktCO <sub>2</sub> | Kilotonnes of carbon dioxide                                             | Kilotonn CO <sub>2</sub>                                                  |
| L-DAC             | Liquid solvent Direct Air Capture                                        | Direkte luftfangst med flytende løsemiddel                                |
| MRV               | Monitoring, reporting and verification                                   | Måling, rapportering og verifisering                                      |
| MWh               | Megawatt-hour                                                            | Megawatt-time                                                             |
| MW                | Megawatt                                                                 | Megawatt                                                                  |
| NGU               | Norges geologiske undersøkelse (Geological Survey of Norway)             | Norges geologiske undersøkelse                                            |
| OAE               | Ocean Alkalinity Enhancement                                             | Økning av havets alkalinitet                                              |
| PEFC              | Programme for the Endorsement of Forest Certification                    | Programme for the Endorsement of Forest Certification                     |
| S-DAC             | Solid sorbent Direct Air Capture                                         | Direkte luftfangst med fast sorbent                                       |
| SSB               | Statistics Norway (Statistisk sentralbyrå)                               | Statistisk sentralbyrå                                                    |
| TRL               | Technology Readiness Level                                               | Teknologimodenhetsnivå                                                    |
| TWh               | Terawatt-hour                                                            | Terawatt-time                                                             |
| VICCO             | VISTA Centre for CO <sub>2</sub> Storage in Volcanic-Sedimentary Systems | VISTA-senter for CO <sub>2</sub> -lagring i vulkansk-sedimentære systemer |
| WtE               | Waste-to-Energy                                                          | Avfall-til-energi                                                         |

## Innledning

I mai 2020 vedtok Oslo ambisiøse klimamål for byen, med mål om å ta en ledende rolle blant byer i arbeidet med å håndtere klimaendringer. Oslos klimastrategi slår fast at byen skal bli karbonnegativ senest innen 2030: *«fra senest 2030 er Oslo en karbonnegativ by, det vil si at Oslo bidrar til å redusere mengden klimagasser i atmosfæren gjennom både biologisk og industriell karbonfangst og lagring.»*<sup>1</sup>

Selv om raske utslippsreduksjoner fortsatt er førsteprioritet, erkjenner Oslos klimastrategi at utslippsreduksjoner alene ikke vil være tilstrekkelig for å nå langsiktige temperaturmål, og at permanent fjerning av karbondioksid (CDR) vil være nødvendig for å håndtere restutslipp og oppnå et karbonnegativt resultat. CDR refererer til menneskeskapte aktiviteter som fanger CO<sub>2</sub> fra biogene kilder, fra sjøvann eller direkte fra omgivelsesluften, og lagrer det permanent gjennom biologiske, geologiske eller mineralbaserte prosesser, og dermed fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.<sup>2</sup>

Klimaetaten arbeider for tiden med å utvikle en ny klimastrategi mot 2040.<sup>3</sup> I denne sammenhengen har Klimaetaten bestilt denne studien for å kvantifisere potensialet for relevante permanente CDR-teknologier i Oslo i 2040. Studiens geografiske avgrensning er begrenset til aktiviteter og potensial innenfor Oslos kommunegrenser.

Studien fokuserer på teknologier og metoder som fører til permanent CDR. Disse inkluderer biokull, bioenergi med karbonfangst og -lagring (BECCS), direkte luftfangst med lagring (DACCS), direkte havbasert karbonfangst og -lagring (DOCCS), karbonlagring i langlevde materialer (tre i bygg), mineral karbonatisering, forsterket forvitring og økt alkalinitet i havet. Naturbaserte løsninger er inkludert der de gir varig lagring utenfor skog- og arealbrukssektoren, slik som blått karbon med høy permanens (se Boks 1).<sup>4</sup>

For å oppnå målene med studien har Carbon Limits gjennomført følgende aktiviteter, som er dokumentert i denne rapporten:

- Gi en oversikt over de vurderte CDR-teknologiene
- Vurdere deres relevans i Oslo-konteksten med hensyn til tilgjengelige ressurser i kommunen
- Estimere potensialet for karbonfjerning for relevante CDR-teknologier
- Identifisere sentrale drivere og begrensninger for deres implementering

Rapporten er strukturert som følger:

- Kapittel 1 gir en oversikt over Oslo-konteksten med hensyn til tilgjengelige ressurser og infrastruktur (med tilleggsinformasjon gitt i Kapittel 3.2)
- Kapittel 2 gjennomgår hver av de vurderte CDR-teknologiene, inkludert en beskrivelse av teknologien, sentrale krav for implementering, viktigste gevinster og barrierer, samt en vurdering av relevans for Oslo
- Kapittel 0 beskriver metodikken som er brukt for å vurdere både maksimalt teknisk og realistisk potensial for karbonfjerning i 2040, og presenterer forutsetningene bak potensialberegningene og resultatene.

<sup>1</sup> Oslo kommune (u.å.). Klimastrategi for Oslo mot 2030. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/rapport/klimastrategi-for-oslo-mot-2030/> (hentet april 2026).

<sup>2</sup> IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Tilgjengelig på: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (hentet april 2026).

<sup>3</sup> Oslo kommune (u.å.). Ny klimastrategi for Oslo: Nå starter arbeidet mot 2040. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/ny-klimastrategi-for-oslo-na-starter-arbeidet-mot-2040/> (hentet april 2026).

<sup>4</sup> I tråd med oppdragsbeskrivelsen er skog- og arealbrukssektoren holdt utenfor omfanget av denne studien. Midlertidige løsninger for karbonlagring som ikke sikrer varighet, er også utelatt.

## Boks 1 – Hva er karbonfjerning (CDR)? Noen nøkkelbegreper

CDR refererer til menneskeskapte aktiviteter som bevisst fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren ved å fange det fra biogene kilder, fra sjøvann eller direkte fra omgivelsesluften, og deretter lagre det varig gjennom biologiske, geologiske eller mineralbaserte prosesser (i geologiske, terrestriske eller marine reservoarer eller i langvarige produkter). CDR inkluderer både forsterkning av naturlige prosesser og teknologiske, ingeniørbaserte tilnærminger. I denne boksen defineres noen nøkkelbegreper knyttet til CDR. Disse definisjonene vil bli brukt i den påfølgende teknologivurderingen.

**Reduksjoner vs. fjerning**

Utslippsreduksjoner er tiltak som reduserer mengden klimagasser som slippes ut til atmosfæren sammenlignet med en referansebane, ved å unngå eller redusere utslipp ved kilden.

Karbonfjerning innebærer å aktivt trekke ut CO<sub>2</sub> som allerede finnes i atmosfæren. CDR er derfor et supplement til, og ikke en erstatning for, utslippsreduksjoner, og er primært relevant for å håndtere restutslipp og oppnå netto null eller netto negative utslipp.

**Typer CDR-metoder***1. Metoder basert på forsterkning av naturlige prosesser*

Disse tilnærmingene forsterker bevisst eksisterende biologiske eller geokjemiske prosesser som naturlig fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Teknologisk intervensjon kan være begrenset til forvaltning, restaurering eller tilrettelegging, snarere enn infrastruktur for fangst og lagring. Eksempler inkluderer:

- Skogplanting og gjenplanting (øker biologisk CO<sub>2</sub>-opptak gjennom biomassevekst)
- Karbonlagring i jord (øker karbonakkumulering i jord gjennom arealforvaltning)
- Blått karbon (øker karbonlagring i kystøkosystemer som saltmyrer, sjøgress og mangrover)
- Restaurering av myr og våtmarker
- Forsterket forvitring (akselererer naturlige mineralforvitningsprosesser gjennom bevisst tilførsel av mineraler)
- Økt alkalinitet i havet (forsterker naturlig karbonatkjemi i havet for å øke CO<sub>2</sub>-opptak)

Disse tilnærmingene er basert på naturlige mekanismer for karbonopptak og -lagring, selv om noen (forsterket forvitring, økt alkalinitet i havet) kan innebære betydelig materialhåndtering og teknisk støtte. Varighet og risiko for reversering kan variere betydelig.

*2. Metoder basert på teknologiske, ingeniørbaserte tilnærminger*

Disse tilnærmingene er primært basert på ingeniørbaserte systemer og industrielle teknologier for å fange CO<sub>2</sub> og lagre det i kontrollerte, langsiktige reservoarer. Naturlige prosesser er ikke den primære driveren for karbonfjerning. Eksempler inkluderer:

- Direkte luftfangst med lagring (DACCS)
- Direkte havbasert karbonfangst og -lagring (DOCCS / DOCS)
- Bioenergi med karbonfangst og -lagring (BECCS)
- In-situ mineral karbonatisering (fanget CO<sub>2</sub> fra luft, biomasse eller hav lagres i reaktive bergarter som basalt)
- Ex-situ mineral karbonatisering (CO<sub>2</sub> reagerer med alkaliske mineraler som olivin)

Disse metodene tilbyr typisk høy grad av permanens/varighet og lav risiko for reversering, men krever betydelig energi, infrastruktur og investeringer.

Merk: DACCS, DOCCS og BECCS definerer hvordan CO<sub>2</sub> fanges og forutsetter implisitt lagring i dype geologiske formasjoner, som saltlakeakviferer eller uttømte olje- og gassreservoarer.

*3. Hybride tilnærminger*

Noen CDR-metoder ligger mellom disse to kategoriene, fordi de kombinerer teknologisk intervensjon med naturlig karbonopptak eller -lagring. Eksempler inkluderer:

- Biokull (ingeniørbasert pyrolyse + biologisk karbonopptak og lagring i jord)
- Karbonlagring i langlevde treprodukter (forvaltet biologisk opptak + teknologisk bruk/lagring)

- Enkelte blåkarbonprosjekter som involverer aktiv teknisk intervensjon eller materialtilførsel

### Teknologisk modenhetsnivå (TRL)

Teknologisk modenhetsnivå (TRL) er en skala som brukes til å angi modenheten til en teknologi, fra TRL 1 (grunnleggende prinsipper observert) til TRL 9 (teknologi bevist i operativt miljø). TRL-rammeverket, opprinnelig utviklet av NASA og tatt i bruk av Europakommisjonen, brukes i denne studien for å vurdere modenheten til ulike CDR-teknologier og deres relevans for implementering innen 2040.

### Varig vs. ikke-varig CDR (permanens)

Varighet refererer til hvor lenge fjernet CO<sub>2</sub> forventes å forbli lagret og isolert fra atmosfæren, samt tilhørende risiko for reversering. Varig CDR innebærer lagring av CO<sub>2</sub> over lange tidshorisonter (typisk hundrevis til tusenvis av år) med lav risiko for utilsiktet utslipp. Eksempler på varig CDR inkluderer: DACCS, DOCCS eller BECCS med injeksjon i dype geologiske formasjoner, samt in-situ og ex-situ mineral karbonatisering. Ikke-varig CDR innebærer CO<sub>2</sub> lagring som er mindre permanent, med kortere lagringstidsrammer eller høyere risiko for reversering, noe som betyr at CO<sub>2</sub> kan bli frigitt til atmosfæren igjen. Eksempler på ikke-varig CDR inkluderer: karbon lagret i vegetasjon (som er blant annet sårbart for brann).

Varig CDR anses generelt som nødvendig for å håndtere restutslipp og for å oppnå netto null eller netto negative utslipp på lang sikt.

### Måling, rapportering og verifisering (MRV) av CDR

Robust MRV er avgjørende for å dokumentere at CDR-aktiviteter gir reell, addisjonell\* og varig karbonfjerning. MRV for CDR inkluderer typisk måling av fjernet CO<sub>2</sub>, rapportering ved bruk av transparente og standardiserte metoder og uavhengig verifisering av resultater, samt overvåking av lagringens varighet og risiko for reversering. Referansebaner varierer mellom ulike CDR-metoder. For mange teknologiske CDR-tilnærminger (som DACCS, DOCCS, BECCS og mineral karbonatisering) antas referansen ofte å være null karbonfjerning i fravær av tiltaket, og MRV fokuserer på å kvantifisere netto fjerning etter å ha tatt hensyn til livsløpsutslipp knyttet til fangst, transport og lagring. For naturbaserte og prosessbaserte CDR-tilnærminger er fastsettelse av referanse mer kompleks, da det krever estimering av hvordan karbonlagre eller -strømmer ville utviklet seg uten tiltaket. Dette medfører større usikkerhet og stiller høyere krav til langsiktig overvåking og risikohåndtering.

MRV-krav varierer betydelig mellom CDR-metoder og er fortsatt et aktivt område for metodisk utvikling, særlig for tilnærminger basert på forsterkning av naturlige prosesser (som for eksempel, forsterket forvitring).

*\*Addisjonalitet er et grunnleggende prinsipp i karbonregnskap og karbonmarkeder og innebærer at et klimatiltak gir utslippsreduksjoner eller karbonfjerning som ikke ville skjedd uten tiltaket, og som dermed representerer en reell, ekstra klimaeffekt sammenlignet med en referansebane*

Kilder:

IPCC (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report. Tilgjengelig på: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (hentet april 2026).

IPCC (2022). IPCC AR6 WGIII Factsheet: Carbon dioxide removal (CDR). Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Factsheet\\_CDR.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGIII_Factsheet_CDR.pdf) (hentet april 2026).

European Commission (u.å.). Technology Readiness Levels (TRL) – Horizon Europe. Tilgjengelig på: <https://www.horizon-europe.gouv.fr/l-echelle-trl-38806> (hentet april 2026).

World Resources Institute (2024). Measurement, Reporting and Verification of Carbon Removal. Tilgjengelig på: <https://www.wri.org/technical-perspectives/measurement-reporting-verification-of-carbon-removal> (hentet april 2026).

## 1 Oslos kontekst – oversikt over tilgjengelige ressurser og infrastruktur

Implementering av CDR-teknologier krever tilgang til spesifikke lokale ressurser og muliggjørende infrastruktur, som energiforsyning, material- og biomassestrømmer, arealtilgang, transportsystemer og nærhet til relevant industriell eller maritim infrastruktur. Ulike CDR-metoder har ulike ressursbehov, som beskrevet i Kapittel 2.

Oslo forventes å være vertskap for et av de første avfallsforbrenningsanleggene (WtE) med fullskala karbonfangst og -lagring, med implementering av karbonfangst og -lagring (CCS) ved Klemetsrud, som er planlagt å bli operativ rundt 2029, med CO<sub>2</sub> lagring via Northern Lights CO<sub>2</sub> transport- og lagringsinfrastruktur. Klemetsrud CCS prosjektet inkluderer utvikling av CO<sub>2</sub>-transportinfrastruktur og havnefasiliteter knyttet til Oslo Havn, som muliggjør skipsbasert eksport av fanget CO<sub>2</sub> til offshore geologiske lagringssteder. Det finnes ikke egnet geologisk lagringskapasitet i Oslo-regionen, og permanent lagring av CO<sub>2</sub> for alle CCS-baserte og teknologiske CDR-løsninger er derfor fullt ut avhengig av eksterne lagringsverdikjeder, som Northern Lights eller etterfølgende lagringsprosjekter.

Dette kapitlet gir en oversikt over tilgjengeligheten av sentrale ressurser og infrastruktur innenfor Oslo kommune, og etablerer et felles kontekstuell grunnlag for å vurdere relevans og mulig implementering av ulike CDR-teknologier i Oslo kommune. Den fullstendige underliggende vurderingen av ressurser og infrastruktur, inkludert datakilder og detaljerte forutsetninger, er angitt i Kapittel 3.2.

Oslos kontekst er preget av en urban struktur, inkludert høy befolkningstetthet, begrenset arealtilgang og intensiv bruk av eksisterende arealer og infrastruktur. Åpne landarealer er knappe, vannområder er underlagt flere regulatoriske rammeverk, og store deler av indre Oslofjord er omfattet av miljøverntiltak, inkludert pågående restaurering av ålegras.<sup>5</sup> Marine aktiviteter er også underlagt sesongmessige driftsforhold. Disse faktorene utgjør en del av den fysiske og regulatoriske konteksten som er svært relevant for implementering av landbaserte og marine CDR-metoder.

Samtidig har Oslo flere former for eksisterende infrastruktur og materialstrømmer som også er relevante for implementering av CDR. Byen har konsentrerte biogene CO<sub>2</sub>-punktkilder, særlig knyttet til avfallsforbrenningssystemet på Klemetsrud. Ytterligere biogene CO<sub>2</sub>-strømmer oppstår fra avfallsbehandling (inkludert Haraldrud) og biogassoppgraderingsaktiviteter ved renseanlegg i kommunen. Oslos rolle som et tett, urbant forbrukssentrum genererer også kontinuerlige strømmer av organisk avfall og alkaliske restmaterialer, som aske, slagg og betongavfall, som er potensielt relevante innsatsfaktorer for enkelte CDR-metoder. Selv om analysen fokuserer på ressurser og utslippsstrømmer knyttet til Oslo, behandles flere av byens avfalls- og biomasseressurser utenfor kommunegrensen. Dette gjelder blant annet matavfall, avløpsslam og enkelte andre organiske avfallsfraksjoner som transporteres til regionale behandlingsanlegg i Akershus og omkringliggende områder. Oslo er derfor integrert i et større regionalt avfalls- og infrastrukturensystem, hvor både ressursgrunnlag, utslippskilder og potensielle CDR-løsninger delvis er geografisk distribuert. Dette kan potensielt skape utfordringer knyttet til avgrensning av hva som skal regnes som «Oslo sitt» CDR-potensial, særlig for løsninger der karbonfangst eller karbonlagring skjer utenfor kommunen, mens ressursgrunnlaget eller avfallsstrømmene stammer fra Oslo.

Egenskapene ved energisystemet er en annen viktig kontekstuell faktor. Elektrisitet er tilgjengelig gjennom mesteparten av året, selv om nettkapasiteten er underlagt sesongmessige begrensninger i perioder med høy etterspørsel om vinteren, og lokal nettkapasitet varierer etter lokasjon. Oslo har også et godt utviklet fjernvarmesystem, inkludert utnyttelse og tilgang til overskuddsvarme fra flere kilder, noe som er relevant for prosesser som er avhengige av tilgang til termisk energi. I kombinasjon med CO<sub>2</sub>-transportinfrastruktur og

<sup>5</sup> NIVA (2025). Ålegrass on the move: Oslo receives restoration assistance from neighboring municipalities. Tilgjengelig på: <https://www.niva.no/nyheter/alegras-pa-flyttefot-oslo-far-restaureringshjelp-fra-nabokommuner> (hentet april 2026).

tilgang til havn utgjør disse elementene en del av den bredere infrastrukturen som implementeringen av ulike CDR-teknologier må vurderes mot.

Tabell 2 oppsummerer Oslos ressursgrunnlag på tvers av relevante ressurskategorier og indikerer deres generelle tilgjengelighet for implementering av karbonfjerningsmetoder.

Tabell 2 Oppsummering av ressurstilgjengelighet og infrastruktur i Oslo

| Ressurstype                                     | Situasjonen i Oslo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Tilgjengelighet for CDR |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Strøm (kapasitet og fleksibilitet)              | Oslo har svært begrenset lokal elektrisitetsproduksjon sammenlignet med etterspørselen og er derfor i stor grad avhengig av kraftimport fra omkringliggende regioner. Den årlige energitilgangen er generelt tilstrekkelig, men høye belastninger om vinteren og begrensninger i lokal nettkapasitet kan være en begrensende faktor for CDR. Nye elektrisitetsintensive belastninger kan kreve fleksibel drift, sesongmessig planlegging eller nøye lokalisering for å tilpasses tilgjengelig kapasitet. | Middels                 |
| Varme /<br>overskuddsvarme                      | Oslo har betydelig lokal varmeproduksjon gjennom et godt utviklet fjernvarmesystem, som forsynes av avfallsforbrenning (WtE), gjenvunnet overskuddsvarme, varmepumper og supplerende enheter. Varmeproduksjonen er i stor grad lokal og tilgjengelig i perioder med høy etterspørsel, noe som gjør kan utgjøre en fordel for varmeavhengige CDR-metoder.                                                                                                                                                 | Høy                     |
| Biomasse /<br>organisk<br>avfallsstrømmer       | Avfallsbaserte biogene materialstrømmer dominerer tilgjengelig biomasse i Oslo, mens tilgangen på primære biomasseressurser er begrenset. Tilgjengeligheten er i større grad begrenset av eksisterende avfallsbehandlingssystemer og konkurrerende materialanvendelser enn av absolutt knapphet.                                                                                                                                                                                                         | Middels                 |
| Biogen CO <sub>2</sub><br>punktkilder           | Den viktigste biogene CO <sub>2</sub> -punktkilden er avfallsforbrenningsanlegget (WtE) på Klemetsrud, hvor CCS er under utvikling. Ytterligere biogene CO <sub>2</sub> -kilder fra avfallshåndtering og biogassoppgradering finnes, men disse er mindre, mer spredte og dermed forbundet med høyere kostnader per enhet CO <sub>2</sub> fjernet dersom implementering av CDR blir vurdert.                                                                                                              | Middels                 |
| Havneinfrastruktur<br>og eksportlogistikk       | CO <sub>2</sub> -eksportinfrastruktur er under utvikling, særlig gjennom havnefasiliteter på Sjursøya knyttet til CCS-prosjektet på Klemetsrud. Bruken av denne infrastrukturen avhenger av terminalkapasitet, veitransportlogistikk og koordinering med eksterne lagringsverdikjeder                                                                                                                                                                                                                    | Middels                 |
| Geologisk lagring                               | Det finnes ingen geologisk lagringskapasitet i Oslo-regionen. Permanent lagring av CO <sub>2</sub> er derfor fullt ut avhengig av eksterne verdikjeder, som skipsbasert transport til Northern Lights-lagringsanlegget eller etterfølgende prosjekter.                                                                                                                                                                                                                                                   | Lav                     |
| Areal                                           | Tilgjengelig areal i Oslo er begrenset på grunn av høy befolkningstetthet og konkurrerende arealbruk. Industriområder, som U6-soner, utgjør de viktigste mulige lokaliseringssområdene for arealkrevende CDR-teknologier, men det totale tilgjengelige arealet er svært begrenset.                                                                                                                                                                                                                       | Lav                     |
| Vannområder /<br>marint miljø                   | Innlige og marine vannområder er underlagt flere begrensninger knyttet til navigasjon, rekreasjon, miljøvern, økologisk restaurering (inkludert ålegras) og sesongmessige isforhold. Disse faktorene begrenser implementering av CDR som krever store vannområder.                                                                                                                                                                                                                                       | Lav                     |
| Alkaliske mineraler og<br>urbane restmaterialer | Primære alkaliske mineraler (f.eks. olivin) finnes i områder utenfor Oslo-regionen. Lokalt tilgjengelige urbane restmaterialer, som aske, slagg og betongavfall fra rivning, utgjør de viktigste potensielle innsatsfaktorene for mineral karbonatisering, med noen begrensninger knyttet til kvalitet, sortering og håndtering.                                                                                                                                                                         | Middels                 |

| Ressurstype             | Situasjonen i Oslo                                                                              | Tilgjengelighet for CDR |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Biogene byggematerialer | Bruken av tre i nybygg styres av bygningstyper og utbyggingsplaner snarere enn av arealtilgang. | Middels                 |

## 2 Oversikt over CDR-teknologier

Dette kapittelet introduserer ni CDR-teknologier som er inkludert i denne studien og vurderer deres relevans for Oslo. Målet er å gi Oslo kommune en tydelig og solid forståelse av hvordan hver teknologi fungerer, hva den krever for å bli implementert og hvorfor noen er relevante for Oslo mens andre ikke er det. En oppsummerende screeningtabell på slutten av dette kapittelet (Kapittel 0) identifiserer de fem teknologiene som går videre til kvantitativ potensialvurdering i Kapittel 0. Vedlegg 2 inneholder teknologifaktaark for hver av de vurderte CDR-løsningene.

### *Hvordan lese dette kapittelet*

Hver CDR-teknologi presenteres på en konsistent måte. Først oppsummerer en tabell de viktigste tekniske egenskapene. Deretter forklarer en kort tekst hvordan teknologien fungerer, hvilke fysiske og infrastrukturelle krav den har og hvilke praktiske utfordringer som finnes for implementering. Videre presenteres de viktigste drivere og barrierer for implementering hver CDR (med særlig fokus på Oslo-spesifikk kontekst). Til slutt angir en konklusjonstabell om teknologien er inkludert eller ekskludert fra analysen av CDR-potensialet i Oslo, samt en kort begrunnelse for konklusjonen.

Hver CDR-metode vurderes opp mot følgende hovedkriterier:

1. *Teknologisk modenhet* (TRL  $\geq 6$ ): En teknologi må være demonstrert i pilot- eller kommersiell skala for å bli vurdert for implementering innen 2040. Teknologier på laboratoriestadium (TRL  $\leq 4$ ) er ekskludert fra kvantitativ potensialberegningen, ettersom utviklingstiden frem til implementeringsklarhet er for lang.
2. *Permanens*: Studien fokuserer på tilnærminger som gir varig karbonlagring (minst århundrer). Teknologier som kun gir midlertidig lagring inkluderes som komplementære tiltak med tydelige forbehold.
3. *Kompatibilitet med Oslo*: Teknologien må være kompatibel med minst én av Oslos tilgjengelige ressursstrømmer og ikke være strukturelt begrenset av forhold som ikke kan løses innen 2040.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> For eksempel anses en teknologi som krever store jordbruksarealer, betydelig import av mineraler eller et marint miljø egnet for operasjoner i åpent hav, som uforenlig med Oslos urbane kontekst.

## 2.1 BECCS

Tabell 3 Nøkkelegenskaper - BECCS

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Biomasse absorberer CO <sub>2</sub> fra atmosfæren under vekst. Når denne biomassen omdannes til energi (varme, elektrisitet eller drivstoff), fanges de resulterende biogene CO <sub>2</sub> -utslippene og injiseres i permanent geologisk lagring, i stedet for å slippes ut til atmosfæren. Når utslippene langs verdikjeden for karbonfangst og -lagring tas i betraktning, tilsvarer nettoeffekten mengden CO <sub>2</sub> fjernet.                                                     |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 5 <sup>7</sup> -9 <sup>8</sup> avhengig av prosess.<br>Fangst fra bioetanolvermering er fullt kommersialisert. Forbrenning med fangst (f.eks. avfallsforbrenning) er på demonstrasjons- til tidlig kommersielt stadium. Biomasseforgassing med fangst er på prototypstadiet.                                                                                                                                                                                                              |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsentrert biogen CO<sub>2</sub>-punktkilde (avfallsforbrenningsanlegg eller biogassanlegg)</li> <li>• CO<sub>2</sub>-fangstutstyr</li> <li>• Energi til fangstprosessen (elektrisitet og varme)</li> <li>• CO<sub>2</sub>-transport til lagring</li> <li>• Permanent geologisk lagring</li> </ul>                                                                                                                                                  |
| Permanens                       | >1000 år <sup>8</sup><br>CO <sub>2</sub> injiseres i dype geologiske formasjoner (saline akviferer, uttømte reservoarer) hvor det forblir lagret i århundrer til årtusener.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| MRV-modenhet                    | Høy for teknologiske systemer. Krever sporing av biogene versus fossile CO <sub>2</sub> -fraksjoner i blandede avfallsstrømmer.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Kostnadsramme                   | Ca. 15-400 \$/tCO <sub>2</sub> <sup>7</sup><br>Det brede kostnadsintervallet reflekterer forskjeller i teknologisk modenhet, med lave kostnader for tilnærminger der CO <sub>2</sub> finnes i høye konsentrasjoner, og betydelig høyere kostnader for systemer med energikrevende fangst fra fortynnede eller komplekse røygasser. Kostnadene varierer også sterkt med anleggsstørrelse, energibehov, biomasseforsyningskjeder og forhold knyttet til CO <sub>2</sub> -transport og -lagring. |

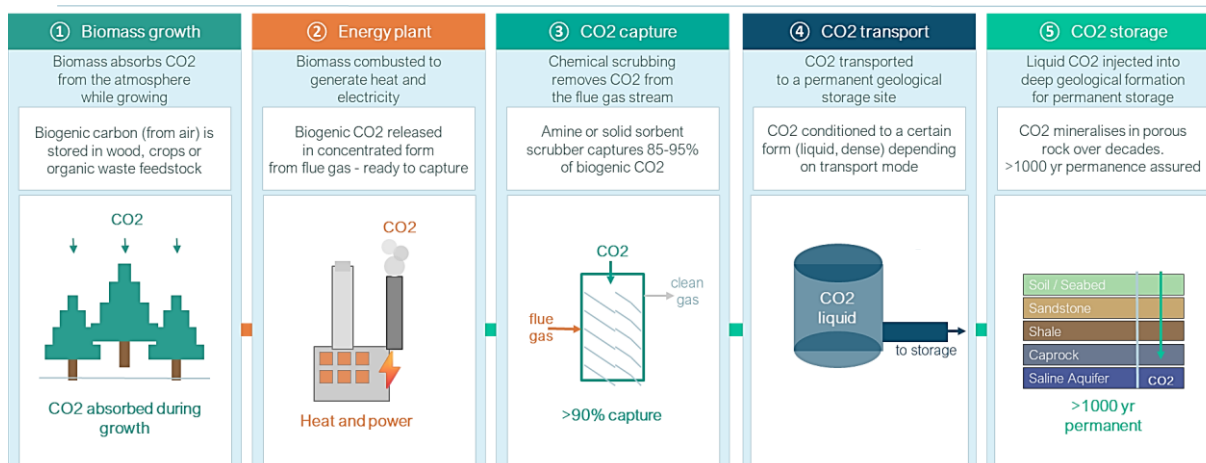
### Om teknologien og dens ressurskrav

BECCS er bygget rundt en eksisterende prosess som allerede produserer biogen CO<sub>2</sub>, som forbrenning av avfall eller omdanning av organisk materiale til biogass, og legger til en karbonfangstanlegg for å fange denne CO<sub>2</sub>-en før den når atmosfæren. Avhengig av lokaliseringen av det geologiske lagringsstedet blir den fangede CO<sub>2</sub>-en deretter komprimert og/eller flytendegjort, transportert (med lastebil eller rørledning) til et landbasert lagringssted eller til en havneterminal hvor CO<sub>2</sub> lastes om bord på et skip, losses og injiseres i et geologisk lagringssted offshore (Figur 1). Hvert av disse trinnene er kommersielt tilgjengelig, men utfordringen er å integrere dem i en komplett og kostnadseffektiv verdikjede.

<sup>7</sup> IPCC (2022). AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

<sup>8</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

Figur 1 Hvordan BECCS fungerer



Den viktigste forutsetningen for implementering av BECCS er tilgang på en konsentrert biogen CO<sub>2</sub>-kilde med tilstrekkelig volum. Små, fortynnede (lav CO<sub>2</sub>-konsentrasjon) eller geografisk spredte kilder kan være mer utfordrende å realisere på en kostnadseffektiv måte, ettersom investeringskostnader til fangstutstyr, komprimering og transportlogistikk blir relativt høye per fanget tonn CO<sub>2</sub>. For eksempel er et avfallsforbrenningsanlegg (WtE) som behandler hundretusenvis av tonn avfall per år godt egnet for implementering av BECCS, mens en liten fjernvarmekjel ikke er det.

Energi forbrukes gjennom hele prosessen: drift av fangstanlegget, komprimering av CO<sub>2</sub> og transport. Der overskuddsvarme er tilgjengelig fra selve omdanningsprosessen, kan denne brukes til å dekke deler av energibehovet til fangsten, noe som forbedrer den samlede kostnadseffektiviteten.

BECCS-systemer basert på etterforbrenningsfangst med aminteknologi kan teknisk sett opereres fleksibelt, men er generelt best egnet for stabil og kontinuerlig drift. Hyppige driftsavbrudd eller raske lastendringer kan redusere fangstytelsen i overgangsperioder, fordi absorber- og stripperprosessene er avhengige av stabile forhold for løsemiddelbelastning, damptilførsel, temperatur og regenerering. I praksis er det derfor normalt mer hensiktsmessig og energieffektivt å operere fangstanlegget kontinuerlig med varierende fangstrate enn å stenge systemet gjentatte ganger ned og starte det opp igjen.<sup>9</sup>

## Fordeler, gevinster og barrierer

### Fordeler og gevinster:

#### *Eksisterende BECCS prosjekt under utbygging, "first mover"-fordeler og kunnskapsdeling*

Hafslund Celsio sitt CCS-prosjekt på Klemetsrud<sup>10</sup> er et viktig prosjekt som gir Oslo og Norge erfaring med implementering av BECCS. Prosjektet benytter en stor andel av den tilgjengelige organiske avfallsstrømmen i Oslo og utvikler en infrastrukturell verdikjede inkludert havneinfrastruktur i Oslo og lastebiltransport. Utviklingen av dette prosjektet kan fungere som en pådriver for videre utvikling av CCS-baserte CDR-løsninger i Oslo-regionen. Northern Lights-lageret på Øygarden, CO<sub>2</sub>-terminalen på Sjursøya og logistikkjeden for lastebiltransport fra Klemetsrud utgjør en etablert, delvis offentlig finansiert verdikjede som vil være operativ fra 2029.

Den operative erfaringen og implementeringspraksisen som etableres gjennom Klemetsrud CCS-prosjektet kan legge til rette for fremtidig utrulling av CDR ved andre regionale anlegg ved å gi praktisk erfaring med

<sup>9</sup> Bui, et al. (2020). Demonstrating flexible operation of the Technology Centre Mongstad (TCM) CO<sub>2</sub> capture plant. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583619303652> (hentet april 2026).

<sup>10</sup> CCS Norway (u.å.). Fangst hos Hafslund Celsio. Tilgjengelig på: <https://ccsnorway.com/no/fangst-hafslund-celsio/> (hentet april 2026).

tillatelsesprosesser, MRV-tilnærminger, løsninger for CO<sub>2</sub>-transport og -lagring, samt integrasjon av karbonfangst i eksisterende avfallsforbrenningsinfrastruktur.

### *Delt infrastruktur reduserer marginalkostnaden for ytterligere kilder*

CO<sub>2</sub>-terminalen på Sjursøya er designet for å motta CO<sub>2</sub> fra flere kilder, ikke kun fra Klemetsrud.<sup>11</sup> Når terminalen er i drift, vil marginalkostnaden ved å koble til en ytterligere kilde være betydelig lavere enn for et separat prosjekt, fordi havnebasert lasteinfrastruktur allerede er etablert. Dette skaper i praksis en CCS-klyngeeffekt rundt havneinfrastrukturen som kommer alle påfølgende BECCS-prosjekter i Oslo-regionen til gode.

### *Høy MRV-troverdighet for den biogene fraksjonen*

I et lukket, teknisk kontrollert fangstsystem kan CO<sub>2</sub>-strømmer kvantifiseres direkte ved bruk av strømningsmålere og kontinuerlige gassanalysatorer. Den biogene andelen av den fangede CO<sub>2</sub>-strømmen kan bestemmes ved hjelp av radiokarbonanalyse (C-14) eller, for avfallsprosesser, gjennom massebalansemetoder basert på biomasseandelen i avfallsinputen. For biogassbaserte systemer er CO<sub>2</sub>-strømmen per definisjon biogen, siden den stammer fra nedbrytning av organisk materiale, noe som forenkler attribusjon sammenlignet med blandede avfallsstrømmer. Selv om heterogene avfallsstrømmer kompliserer separasjonen mellom fossile og biogene karbonfraksjoner, vurderes disse utfordringene som teknisk håndterbare ved bruk av eksisterende overvåkingsteknologier og regnskapsmetoder, inkludert de som er integrert i designet for Klemetsrud CCS-prosjektet. Som resultat anses BECCS generelt å ha relativt høy MRV-robusthet sammenlignet med mange åpne CDR-systemer.<sup>12</sup>

### *Utnyttelse av overskuddsvarme*

BECCS-installasjoner, slik som på Klemetsrud, kan produsere varme gjennom bruk av varmepumper. Denne varmen kan støtte fjernvarmesystemer og redusere elektrisitetsetterspørselen til romoppvarming i perioder med høy belastning.<sup>13</sup> Dette kan bidra til å frigjøre kapasitet for andre CDR-teknologier med høyere elektrisitets- eller varmebehov.

## **Barrierer:**

### *Høye og frontlastede kapitalkostnader*

BECCS-prosjekter krever svært store investeringer, med betydelige kostnader som påløper før CO<sub>2</sub>-fangst og -lagring faktisk starter. Slike prosjekter kan derfor skape finansierings- og budsjettutfordringer, særlig for kommunale aktører, fordi kostnadene påløper lenge før klimagevinster og potensielle inntektsstrømmer realiseres. Vellykket implementering avhenger også av langsiktig politisk og finansiell forpliktelse over lange utviklings- og driftsperioder.

### *Usikkerhet og konkurranse knyttet til tilgang på råstoff*

Implementering av BECCS kan konkurrere med andre biomasse-baserte CDR-løsninger om begrensede biogene CO<sub>2</sub>- eller biomasseressurser. I Oslo-regionen er de fleste lokalt tilgjengelige biomasse- og organiske avfallsstrømmene allerede integrert i eksisterende verdikjeder for avfallshåndtering, energiutnyttelse, kompostering eller biogassproduksjon. Omlegging av ytterligere avfallsbaserte råstoffstrømmer til BECCS kan derfor redusere tilgjengeligheten av råstoff for andre etablerte behandlings- og utnyttelsesløsninger. Denne begrensningen er særlig relevant i Oslo fordi forbrenningsanleggene på

<sup>11</sup> St1 (2025, 29. april). St1 secures agreement for infrastructure in major CO2 capture and storage project. Tilgjengelig på: <https://st1.com/article/st1-secures-agreement-for-infrastructure-in-major-co2-capture-and-storage> (hentet april 2026).

<sup>12</sup> IEAGHG (2024). Measurement, reporting and verification (MRV) and accounting for carbon dioxide removal (CDR) in the context of both project-based approaches and national greenhouse gas inventories (NGHGI). Tilgjengelig på: <https://ieaghg.org/publications/2024-09%20Measurement,%20reporting%20and%20verification%20of%20CDR.pdf> (hentet april 2026).

<sup>13</sup> THEMA Consulting Group (2024). Fjernvarme og områdekjøling: Barrierer og virkemidler (THEMA Report 2024-08).

Klemetsrud og Haraldrud allerede behandler en betydelig andel av regionens restavfall og tilhørende biogene CO<sub>2</sub>-strømmer, noe som begrenser tilgjengeligheten av ytterligere konsentrerte biogene CO<sub>2</sub>-kilder for videre utrulling av BECCS.

Noen alternative råstoffstrømmer, som avløpsslam som i dag benyttes i landbruk eller jordrelaterte anvendelser, kan teoretisk omdirigeres til BECCS-løsninger. Dette vil imidlertid sannsynligvis innebære regulatoriske, politiske og praktiske utfordringer knyttet til resirkulering av næringsstoffer, slamhåndteringspraksis og offentlig aksept. Storskala dyrking av dedikerte energivekster for BECCS vurderes som lite sannsynlig å bli prioritert i norsk kontekst på grunn av begrenset tilgang på jordbruksareal og bredere hensyn knyttet til matsikkerhet og arealbruk. Som følge av dette vil storskala utrulling av BECCS utover eksisterende avfalls- og biomassesystemer sannsynligvis kreve import av råstoff fra andre regioner, noe som vil øke transportbehov, logistisk kompleksitet og systemkostnader.

### *Langsiktig regulatorisk usikkerhet knyttet til kreditering av negative utslipp*

Selv om utviklingen i EU-politikken i økende grad støtter karbonfjerning, gjenstår det betydelig usikkerhet knyttet til den langsiktige regulatoriske og kommersielle behandlingen av BECCS innenfor EUs klimapolitiske rammeverk. Under dagens EU ETS-regelverk må fanget og permanent lagret CO<sub>2</sub> måles og rapporteres, men mekanismene for å generere forutsigbare langsiktige inntektsstrømmer fra karbonfjerning er fortsatt under utvikling.<sup>14</sup> EU sitt sertifiseringsrammeverk for karbonfjerning og karbonopptak (CRCF)<sup>15</sup>, vedtatt i 2024, etablerer et sertifiseringssystem for permanent karbonfjerning, inkludert enkelte industrielle karbonfjerningsløsninger. Samspillet mellom CRCF-sertifiserte CDR, forpliktelser under EU ETS og en eventuell fremtidig integrasjon av BECCS i EUs karbonmarkeder er imidlertid fortsatt ikke fullt definert. Denne regulatoriske usikkerheten kan øke investeringsrisikoen for fremtidige BECCS-prosjekter utover «first-mover»-anlegg som Klemetsrud.

---

## Boks 2 Virkemidler og rammeverk for BECCS i Norge

---

Til tross for Norges verdensledende posisjon innen CCS-infrastruktur, med Langskip-prosjektet og Northern Lights som tilbyr en fullskala verdikjede for CO<sub>2</sub>-transport og -lagring som få land kan matche, er det bredere insentivlandskapet for BECCS utover prosjektet på Klemetsrud fortsatt fragmentert og svært usikkert.

Norge vurderer ulike virkemidler for teknologiske karbonfjerninger, inkludert omvendt avgift og omvendte auksjonsmekanismer<sup>16</sup>, men konkrete ordninger er foreløpig ikke implementert. Eksisterende virkemidler (Enova-støtte, CLIMIT-forskningsmidler, Gassnova sitt demonstrasjonsrammeverk) er utviklet for førstegangsprosjekter, ikke for bred utrulling av BECCS på tvers av flere anlegg.

Den viktigste kilden til regulatorisk usikkerhet gjelder forholdet mellom BECCS og EUs kvotehandelsystem (EU ETS). EU-landene har vært pålagt å måle, rapportere og verifisere utslipp fra kommunale avfallsforbrenningsanlegg fra 2024, men innen 31. juli 2026 skal Europakommisjonen legge frem en rapport som vurderer muligheten for å inkludere disse anleggene i EU ETS, med mål om inkludering fra 2028 og med mulig reservasjonsadgang frem til senest 2030.<sup>17</sup> Denne tidslinjen innebærer at en viktig potensiell finansiell driver for BECCS ved avfallsforbrenningsanlegg, dvs. plikten til å innlevere kvoter for fossile CO<sub>2</sub>-utslipp, som ville skape et direkte kostnadsbesparende insentiv for installasjon av CCS, ennå ikke er bekreftet.

---

<sup>14</sup> Carbon Gap (u.å.). EU Emissions Trading System. Tilgjengelig på: <https://tracker.carbongap.org/policy/eu-emissions-trading-system/> (hentet april 2026).

<sup>15</sup> European Commission (u.å.). Carbon removals and carbon farming (CRCF regulation). Tilgjengelig på: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming/carbon-removals-and-carbon-farming-crcf-regulation\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming/carbon-removals-and-carbon-farming-crcf-regulation_en) (hentet april 2026).

<sup>16</sup> Miljødirektoratet (2024). Virkemidler for industriell karbonfjerning. Tilgjengelig på: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2024/mars-2024/virkemidler-for-industriell-karbonfjerning/> (hentet april 2026).

<sup>17</sup> European Parliament (2026). Carbon dioxide removal: Policy framework (EPRS Briefing 782615). Tilgjengelig på: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2026/782615/EPRS\\_BRI\(2026\)782615\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2026/782615/EPRS_BRI(2026)782615_EN.pdf) (hentet april 2026).

Selv dersom Kommisjonen anbefaler inkludering fra 2028, er ETS-rammeverket utviklet for å «straffe» fossile CO<sub>2</sub>-utslipp og skaper ikke automatisk en positiv inntektsstrøm for den biogene andelen av fanget CO<sub>2</sub>.

Utformingen av kreditering for negative utslipp innenfor ETS er fortsatt helt uavklart. EU sitt regelverk for karbonfjerning og karbonopptak etablerer et sertifiseringsrammeverk for karbonfjerninger, men hvordan dette skal samvirke med ETS-forpliktelser for industrielle BECCS-operatører er foreløpig ikke definert i lovverk eller veiledning.

## Relevans for Oslo

BECCS vurderes som en relevant CDR-teknologi for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 4 nedenfor.

Tabell 4 Resultater av relevansvurdering – BECCS

Vurdering av relevans for Oslo – ✓

INKLUDERT i estimering av karbonfjerningspotensial

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor inkludert    | Klemetsrud BECCS er allerede under utvikling og representerer den klart største enkeltstående CDR-muligheten i Oslo. Hele infrastrukturen, inkludert fangst, havneterminal, skipstransport og geologisk lagring, er under oppbygging og vil være operativ innen 2029.                                                                         |
| Nøkkel begrensninger | Tilgangen på biogen CO <sub>2</sub> er den primære fysiske begrensningen. Totalt tilgjengelig biogen CO <sub>2</sub> i Oslo er omtrent 360 ktCO <sub>2</sub> /år. Mer enn halvparten av dette volumet er allerede knyttet til Klemetsrud. Mindre kilder har høyere enhetskostnader og svakere økonomi for implementering av BECCS prosjekter. |
| Verdt å nevne        | For systemer med blandede innsatsfaktorer (f.eks. avfallsforbrenning) er det nødvendig å skille mellom fossile og biogene CO <sub>2</sub> -fraksjoner. Dette krever både sporing av inngående materialer og måling av CO <sub>2</sub> -strømmer, ofte med teknologier som kan fastslå den biogene andelen av de fangede utslippene.           |

## 2.2 Biokull

Tabell 5 Nøkkelegenskaper – Biokull

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Biomasse varmes opp i et oksygenfattig miljø (pyrolyse) for å produsere et stabilt, karbonrikt materiale. Karbonet som planter har tatt opp fra atmosfæren under vekst, bindes i en form som motstår nedbrytning i århundrer, i stedet for å bli frigitt gjennom naturlig nedbrytning eller forbrenning. |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 6-7 som en CDR teknologi <sup>18</sup><br>Pyrolyseteknologi er kommersielt tilgjengelig. Standardisert storskala implementering av CDR og MRV-rammeverk er fortsatt under utvikling.                                                                                                                 |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bærekraftig biomasse som råstoff (treavfall, urbant grøntavfall, landbruksrester, organisk avfall)</li> <li>Pyrolyseanlegg med utslippskontroll</li> </ul>                                                                                                        |

<sup>18</sup> IPCC (2022). AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

| Tekniske egenskaper | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Areal for lokalisering av pyrolyseanlegg og tilhørende infrastruktur (f.eks., lagring av innsatsfaktorer og biokull)</li> <li>Marked for avtak av biokull (jord, bygg)</li> </ul>                                                                  |
| Permanens           | 100-1000 år, med usikkerhet avhengig av kvaliteten på biokullet <sup>19</sup><br>Omtrent 70-99% av karbonet forblir lagret etter 100 år, avhengig av råstoff og lokale forhold. Norske feltforsøk indikerer omtrent 95-99% stabilitet over 100 år for trebaserte råstoffer. <sup>20</sup> |
| MRV-modenhhet       | Moderat.<br>Strukturerte rammeverk finnes (f.eks. Puro.earth-standard <sup>21</sup> ). Viktige usikkerheter: langsiktig stabilitet avhengig av jordforhold og sluttbruk.                                                                                                                  |
| Kostnadsramme       | 10-345 \$/tCO <sub>2</sub> <sup>22</sup>                                                                                                                                                                                                                                                  |

## Om teknologien og dens ressurskrav

Biokull produseres ved å varme opp organisk materiale (f.eks., flis, landbruksrester, matavfall, avløpsslam) i en reaktor med begrenset oksygentilgang, en prosess som kalles pyrolyse. Resultatet er et porøst, kull-lignende materiale som er svært motstandsdyktig mot biologisk nedbrytning. Når dette materialet tilføres jord eller inngår i byggematerialer, forblir karbonet det inneholder lagret over svært lang tid, i stedet for å returnere til atmosfæren gjennom nedbrytning.

Den viktigste forskjellen fra ren forbrenning av biomasse er at biokullproduksjon omdanner omtrent 50% av det opprinnelige karbonet i biomassen til stabilt kull, mens forbrenning frigjør praktisk talt alt som CO<sub>2</sub>. Et pyrolyseanlegg produserer også varme og/eller syntesegass som biprodukter, som kan utnyttes til energi og forbedre den samlede økonomien i prosessen.

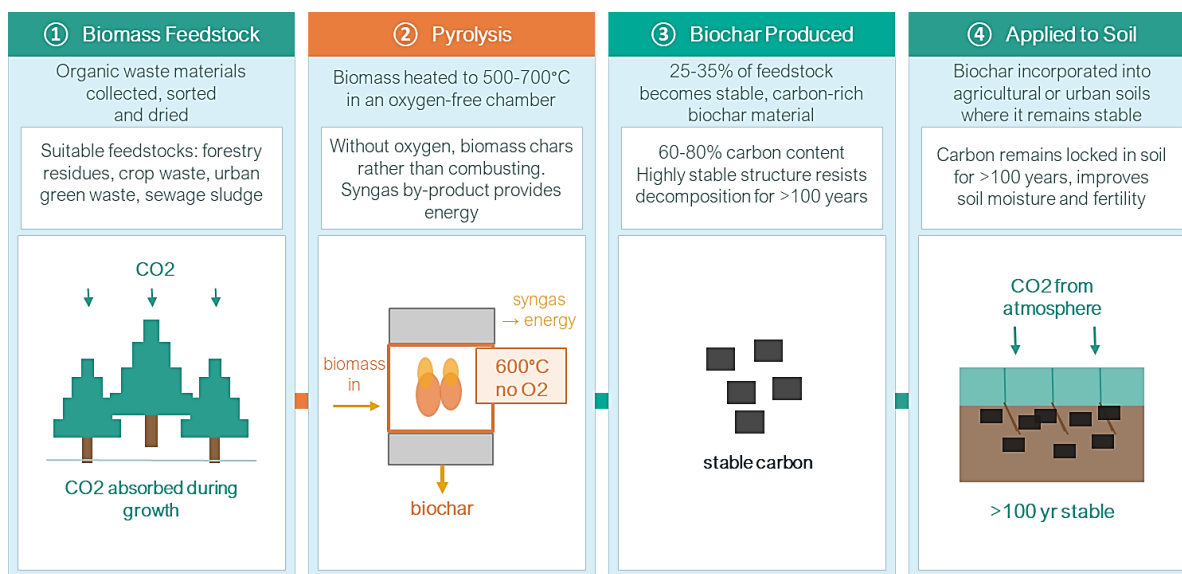
<sup>19</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

<sup>20</sup> Hagenbo, A., O'Toole, A., Astrup, R. & Rasse, D. (2024). Biochar mitigation potential in Norway estimated by IPCC Tier 1 and Tier 2 methods. Carbon Management. Tilgjengelig på: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17583004.2024.2410823> (hentet april 2026).

<sup>21</sup> Puro Earth (2025). Biochar Methodology for CO<sub>2</sub> Removal. Tilgjengelig på: <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Puro%20Biochar%20Methodology%20-%20Edition%202025%20-%20Approved%20Version%20-%20Pending%20Copy%20Edit.pdf> (hentet april 2026)

<sup>22</sup> Royal Society of Chemistry (2022). A comparative analysis of the efficiency, timing, and permanence of CO<sub>2</sub> removal pathways. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d2ee01021f> (hentet april 2026).

Figur 2 Hvordan biokull fungerer



Den viktigste forutsetningen er tilgang til bærekraftig, lokalt biomasseråstoff. Bruk av lokale materialer reduserer transportutslipp. I Oslo er de mest egnede strømmer treavfall (omtrent 13 kt tørrstoff/år) og urbant grøntavfall som hage- og parkavfall (omtrent 8 kt tørrstoff/år). Disse strømmingene behandles i dag gjennom forbrenning eller kompostering, noe som innebærer at biokullproduksjon vil kreve en delvis omdirigering av disse råstoffene. Andre strømmer, som avløpsslam og matavfall, er teoretisk egnede råstoffer, men har høyere risiko for forurensning (tungmetaller, PAH i slam) og høyere fuktighetsinnhold, noe som øker energibehovet for tørking.

Pyrolyseanlegg krever et industrielt eller semi-industrielt område med veiadkomst for levering av biomasse, utslippskontroll for luftforurensning (partikler, flyktige organiske forbindelser), samt areal for lagring av råstoff og håndtering av biokull. Sammenlignet med BECCS er teknologien mer modulær og kan implementeres i mindre skala, noe som gjør lokalisering noe mer fleksibel. Oslo har relevante industriområder regulert til U6 (Alna, Haraldrud, Karihaugen) som kan ha et slikt anlegg.

Biokull produsert i Oslo kan brukes på byens omtrent 9,5 km<sup>2</sup> jordbruksareal<sup>23</sup>, i urban grønn infrastruktur (tregroper, parker) eller inngå i byggematerialer som betong. Oslo har allerede piloterfaring: biokull er brukt i urbane grøntområder, og Biocrete-prosjektet nær Oslo (ferdigstilt i 2023)<sup>24</sup> har demonstrert bruk av biokull som tilsetning i betong.

<sup>23</sup> Kartverket (2026). *Fakta om Norge: Størrelsen på landet*. Tilgjengelig på: <https://kartverket.no/til-lands/fakta-om-norge/storleiken-pa-landet> (hentet april 2026).

<sup>24</sup> Biocrete (u.å.). Carbon-negative concrete using biochar. Tilgjengelig på: <https://www.biocrete.no/> (hentet april 2026)

**Biokull i Norge<sup>25</sup>**

**Utviklere:** OBIO, IVAR, ØRAS, Trøndelag fylkeskommune, WAI Environmental Solutions, Arbion, Cruda / Standard Bio, Beyonder

**Lokasjon:** Flere steder i Norge

**Status:** Kommersiell drift og oppskalering

Norge har de siste årene utviklet en voksende biokullsektor basert hovedsakelig på skogsrester, biprodukter fra hogst, returtrevirke og andre biomasserester. Per 2025-2026 er minst åtte biokullanlegg i drift over hele landet, fra kommunale anlegg som produserer biokull til jordforbedring, til større industrielle prosjekter.

Flere av de operative anleggene er integrert i kommunale avfalls- og ressursforvaltningssystemer. På Rudshøgda driver OBIO to BIOMACON-pyrolyseenheter med en samlet produksjonskapasitet på om lag 750 tonn per år. Produktene brukes blant annet til jordforbedring og som tilsetning i dyrefôr, mens overskuddsvarme fra pyrolyseprosessen utnyttes ved et nærliggende slakteri. På Vestlandet driver IVAR to BIOMACON-enheter i Sandnes med en samlet produksjon på rundt 400 tonn per år, hovedsakelig rettet mot bylandskap, grøntanlegg og jordforbedring. Andre produsenter inkluderer ØRAS, Trøndelag fylkeskommune og WAI Environmental Solutions, som illustrerer hvordan biokullproduksjon kan integreres i kommunal avfalls- og ressursforvaltning.

Parallelt vokser det frem en industriell biokullsektor med betydelig større produksjonskapasitet. Arbion er i ferd med å etablere et anlegg på Follum med planlagt produksjon på om lag 25 000 tonn biokullagglomerater per år til metallurgisk industri, mens Cruda og Standard Bio utvikler et anlegg med kapasitet på rundt 10 000 tonn per år. Prosjektene illustrerer hvordan biokull i økende grad kan erstatte fossilt karbon i industrielle prosesser og bidra til industriell avkarbonisering.

Utover tradisjonelle anvendelser innen jordbruk og jordforbedring undersøkes også bruk av biokull i material- og industriprodukter med lengre levetid. Beyonder har blant annet utforsket bruk av biokull fremstilt fra sagflis som råmateriale i batteriproduksjon.

**Fordeler, gevinster og barrierer****Fordeler og gevinster:***Den mest modulære og utbyggingsklare CDR-løsningen etter tre i bygg*

I motsetning til BECCS og DACCS krever ikke biokullproduksjon infrastruktur for CO<sub>2</sub>-transport og geologisk lagring. Biokullsystemer kan generelt implementeres i mindre og mer modulære skalaer, noe som reduserer behovet for store, sentraliserte infrastrukturinvesteringer. I Oslo-kontekst kan pyrolyseanlegg potensielt integreres i eksisterende industri- eller avfallsområder, som Alna, Haraldrud eller Karihaugen. Sammenlignet med storskala CCS-prosjekter vil biokullanlegg sannsynligvis ha lavere infrastrukturell kompleksitet og mer begrensede krav til transport og lagring.

*Flere gevinster knyttet til sirkulærøkonomi*

Biokull er ikke en CDR-teknologi med ett enkelt formål. Den samme pyrolyseprosessen som binder karbon i stabilt biokull produserer også varme og syntesegass som biprodukter, som kan brukes til å drive pyrolyseprosessen selv eller levere fjernvarme, noe som kan forbedre den totale energibalansen. I tillegg til karbonlagring kan biokull gi flere mulige gevinster avhengig av sluttbruk. Ved bruk i jord kan biokull forbedre

<sup>25</sup> Gassnova. (2026). Current state of biochar as carbon dioxide removal. [https://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2026/03/March2026\\_Current\\_State\\_of\\_Biochar\\_as\\_CDR\\_MICDR.pdf](https://mission-innovation.net/wp-content/uploads/2026/03/March2026_Current_State_of_Biochar_as_CDR_MICDR.pdf)

jordstruktur og vannretensjon og redusere næringsstoffavrenning<sup>26,27</sup>, noe som kan bidra til redusert nitrogenavrenning til Oslofjorden. Biokull kan også erstatte torv i vekstmedier for hagebruk og undersøkes i økende grad som en delvis erstatning for fossilbaserte tilsetningsstoffer og fyllmaterialer i byggematerialer som asfalt, betong og kompositter.<sup>28</sup> Disse egenskapene innebærer at biokull kan bidra til flere kommunale målsettinger samtidig, inkludert avfallshåndtering, urban grønnstruktur, jordforbedring og vannkvalitetsforvaltning.

### *Høy langsiktig stabilitet av biokull fra trebaserte råstoff under norske forhold*

Norske studier indikerer at biokull produsert fra trebaserte råstoff kan ha relativt høy langsiktig karbonstabilitet under nordiske jord- og klimaforhold<sup>29</sup>, delvis på grunn av lavere mikrobiell nedbrytning i kjølige klima. Estimert permanens for trebasert biokull produsert ved høye temperaturer er generelt høyere enn for mange biologiske karbonlagringsløsninger, selv om stabiliteten avhenger av faktorer som råstofftype, pyrolyseforhold, jordegenskaper og miljøforhold.<sup>30</sup> Selv om estimer for langsiktig permanens fortsatt er usikre og varierer mellom metodologier, regnes biokull generelt som en relativt varig ikke-geologisk CDR-løsning sammenlignet med konvensjonelle landbaserte karbonlagringsmetoder.

### *MRV-rammeverk er under utvikling og blir stadig mer robuste*

Puro.earth sin biokullstandard<sup>31</sup> gir en strukturert metodologi som dekker verifisering av råstoff, måling av utbytte, stabilitetstesting og overvåkning av sluttbruk. Selv om denne standarden ikke har samme MRV-robusthet som geologisk lagring, er den mer utviklet enn MRV for blått karbon eller forbedret forvitring, og den er i aktiv utvikling. EU CRCF<sup>32</sup> forventes å etablere et regulatorisk rammeverk for biokullkreditter i EU-markedet, noe som potensielt kan skape etterspørsel etter norsk biokull innen tidlig 2030-tall.

## **Barrierer:**

### *Konkurranse om råstoff og alternativkostnader*

Utrulling av biokull kan møte konkurranse om begrensede biomasse- og organiske avfallsressurser som allerede har andre funksjoner i det urbane systemet, inkludert energiutnyttelse, kompostering, landskapspleie og materialgjenvinning. Omdirigering av disse strømmene til biokull krever derfor vurdering av om karbonfjerningsgevinsten oppveier tapte fordeler fra eksisterende behandlings- og utnyttelsesløsninger. Dette er i grunn et prioriteringsspmålsom som avhenger av lokal infrastruktur, energisystemer, avfallshåndteringspraksis og alternative anvendelser av råstoff. Særlig i tette urbane kontekster avhenger den netto klimanytten av biokull ikke bare av permanensen til karbonlagringen, men også av hvilke prosesser, energikilder eller materialstrømmer som fortrenses når biomasse omdirigeres fra eksisterende bruk. Biokullsystemer bør derfor vurderes med et livsløps- og systemperspektiv som inkluderer konkurranse om råstoff, fortrenget energi og materialer, transport- og prosesseringsutslipp og langsiktig stabilitet for biokull.

<sup>26</sup> Qi, Y., et al. (2026). Soil health response to biochar combined with other amendments: A review. *Biochar*, 7, 34. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00531-6> (hentet april 2026).

<sup>27</sup> Ahmed, T., et al. (2023). Biochar as a tool for the improvement of soil and environment. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1324533. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324533> (hentet april 2026).

<sup>28</sup> Glaser, B. & Asomah, A. A. A. (2022). Plant growth and chemical properties of commercial biochar- versus peat-based growing media. *Horticulturae*, 8(4), 339. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/4/339> (hentet april 2026).

<sup>29</sup> Hagenbo, A., O'Toole, A., Astrup, R. & Rasse, D. (2024). Biochar mitigation potential in Norway estimated by IPCC Tier 1 and Tier 2 methods. *Carbon Management*. Tilgjengelig på: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17583004.2024.2410823> (hentet april 2026).

<sup>30</sup> NIBIO (u.å.). Biochar stable for centuries, but not forever. Tilgjengelig på: <https://www.nibio.no/en/news/biochar-stable-for-centuries-but-not-forever> (hentet april 2026).

<sup>31</sup> Puro.earth (u.å.). Scaling biochar with integrity and innovation. Tilgjengelig på: <https://puro.earth/our-blog/362-scaling-biochar-with-integrity-and-innovation> (hentet april 2026).

<sup>32</sup> European Commission (u.å.). Carbon removals and carbon farming (CRCF regulation). European Commission, Climate Action.

*Risiko for luftkvalitetspåvirkning i urbane lokasjoner*

Pyrolysesystemer i industriell skala kan generere utslipp inkludert flyktige organiske forbindelser (VOC), partikler, tjæreaerosoler og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), særlig dersom prosess temperaturer, oppholdstid eller gassrensingsystemer ikke er tilstrekkelig kontrollert.<sup>33</sup> I tette urbane miljøer som Oslo vil utrulling av pyrolyseanlegg derfor kreve robuste utslippskontrollsystemer, kontinuerlig prosessovervåkning og etterlevelse av strenge krav til luftkvalitet og miljøtillatelser. Avhengig av anleggsstørrelse og lokasjon kan tillatelsesprosesser også kreve vurdering av lokale miljø- og helsekonsekvenser. Som for mange industrielle anlegg i urbane områder kan bekymringer knyttet til luftkvalitet, lukt, transport og lokale miljøpåvirkninger også påvirke sosialaksept og tidslinjer for tillatelser. Selv om disse utfordringene generelt vurderes som teknisk håndterbare ved bruk av beste tilgjengelige teknologier og hensiktsmessige driftskontroller, kan de øke prosjektkompleksitet og kostnader.

*Risiko for kontaminering begrenser fleksibiliteten i råstoffvalg*

Råstoff som avløpsslam kan inneholde forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller (f.eks. kadmium, bly og kvikksølv), persistente organiske miljøgifter og PAH-er, noe som kan påvirke egnetheten til det resulterende biokullet for jordbruksmessig bruk, særlig i landbrukskontekster. Tilsvarende kan blandede avfallsstrømmer som inneholder plast eller andre fossilbaserte forurensninger øke dannelsen av uønskede pyrolysebidprodukter og kreve mer avanserte systemer for gassrensing og utslippskontroll.<sup>34</sup> Begrensning av råstofftilgangen til relativt rent treavfall og urbant grøntavfall reduserer disse kontamineringsrisikoene betydelig og forenkler videre anvendelse av biokull. Dette begrenser imidlertid også skalaen på biokullutrulling i Oslo, fordi tilgjengeligheten av rene biomasserester i den urbane regionen er begrenset.

*Behov for markedsutvikling for avtak av biokullprodukter*

Utrulling av biokull avhenger ikke bare av tilgang på råstoff og pyrolyseinfrastruktur, men også av tilgang til sluttmarkeder for de resulterende biokullproduktene. Storskala bruk i landbruk krever tilstrekkelig etterspørsel fra grunneiere og bønder, noe som avhenger av dokumenterte agronomiske fordeler, akseptable kostnader, regulatorisk aksept og praktisk logistikk i verdikjeden. Bruk av biokull i byggematerialer, inkludert nye anvendelser i betong, asfalt og komposittmaterialer, krever produktsertifisering, teknisk validering og implementering i byggesektoren. Urbane anvendelser som parker, tregroper og grønn infrastruktur kan gi verdifulle lokale anvendelsesområder, men vil sannsynligvis ikke alene kunne absorbere hele produksjonen fra et pyrolyseanlegg i kommersiell skala.

**Relevans for Oslo**

Biokull vurderes som en relevant CDR-teknologi for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 6.

Tabell 6 Resultater av relevansvurdering - Biokull

Vurdering av relevans for Oslo – ✓

INKLUDERT i estimering av karbonfjerningspotensial

|                   |                                                                                                                                                                  |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor inkludert | Relevante lokale avfallsstrømmer er tilgjengelige, teknologien er kommersielt moden, og Oslo har allerede erfaring fra pilotprosjekter. Biokull kan integreres i |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

<sup>33</sup> Li, S. (2024). Reviewing air pollutants during pyrolysis of solid waste. Sustainability, 16(3), 1169. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3390/su16031169> (hentet april 2026).

<sup>34</sup> Danmarks Tekniske Universitet (DTU) (2025). Investigation of environmental issues related to the production and use of biochar: Literature review. Tilgjengelig på: [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/436599868/Investigation\\_of\\_environmental\\_issues\\_related\\_to\\_the\\_production\\_and\\_use\\_of\\_biochar\\_litterature\\_review\\_DTU\\_2025.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/436599868/Investigation_of_environmental_issues_related_to_the_production_and_use_of_biochar_litterature_review_DTU_2025.pdf) (hentet april 2026).

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | eksisterende systemer for avfallshåndtering og forvaltning av grøntområder med relativt beskjedne infrastrukturinvesteringer.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Nøkkel begrensninger | Begrenset og omstridt tilgang på biomasseråstoff. Treavfall og grøntavfall er også etterspurt til energigjenvinning og kompostering. Ethvert biokullprogram må dokumentere at omdirigering av disse strømmingene faktisk er klimamessig optimal gitt Oslos energisystem.                                                                                                            |
| Verdt å nevne        | Forurensningsrisiko fra enkelte råstoffer (slam, blandet organisk avfall) krever nøye utvalg av råstoff og kvalitetskontroll. Utslippskontroll ved pyrolyseanlegget vil være viktig gitt Oslos urbane tetthet.<br><br>Varigheten av karbonlagring i biokull, selv om den er høy, er ikke ekvivalent med geologisk lagring og bør ikke fremstilles som sådan overfor offentligheten. |

## 2.3 DACCS

Tabell 7 Nøkkelegenskaper - DACCS

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Store vifter trekker omgivelsesluft gjennom en kjemisk kontaktor. CO <sub>2</sub> fanges fra luften ved bruk av enten et flytende løsningsmiddel (L-DAC) eller et fast sorbent (S-DAC). Den fangede CO <sub>2</sub> -en komprimeres og injiseres i geologisk lagring.                                                          |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | S-DAC og L-DAC 7-9 <sup>35</sup><br><br>Flere kommersielle anlegg er i drift, inkludert Climeworks' Orca <sup>36</sup> (Island, 4 ktCO <sub>2</sub> /år, 2021) og Mammoth <sup>37</sup> (Island, 36 ktCO <sub>2</sub> /år, 2024). Kostnadene er fortsatt svært høye.                                                           |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Svært store mengder lavkarbonelektrisitet og/eller varme</li> <li>• Areal i nærheten av CO<sub>2</sub>-transportinfrastruktur</li> <li>• Tilgang til geologisk lagring (helst i nærheten for å unngå ekstra transportkostnader)</li> <li>• Betydelige kapitalinvesteringer</li> </ul> |
| Permanens                       | >1000 år <sup>38</sup><br><br>CO <sub>2</sub> lagres i dype geologiske formasjoner.                                                                                                                                                                                                                                            |
| MRV-modenhet                    | Høy. Fangst og lagring skjer i et lukket, teknologisk system der alle CO <sub>2</sub> -strømmer kan måles direkte.                                                                                                                                                                                                             |
| Kostnadsramme                   | 600-1000 \$/tCO <sub>2</sub> for førstegenerasjonsanlegg og 100-300 \$/tCO <sub>2</sub> etter hvert som erfaring opparbeides <sup>39</sup>                                                                                                                                                                                     |

<sup>35</sup> European Parliament (2026). The role of Direct Air Capture technologies in the EU's decarbonisation effort. Tilgjengelig på: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/772474/ECTI\\_STU\(2025\)772474\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/772474/ECTI_STU(2025)772474_EN.pdf) (hentet april 2026).

<sup>36</sup> Climeworks (u.å.). Orca: the first large-scale plant. Tilgjengelig på: <https://climeworks.com/plant-orca> (hentet april 2026).

<sup>37</sup> Climeworks (2023). Mammoth: what it takes to manufacture direct air capture plants at new scales. Tilgjengelig på: <https://climeworks.com/news/climeworks-mammoth-construction-update-mar23> (hentet april 2026).

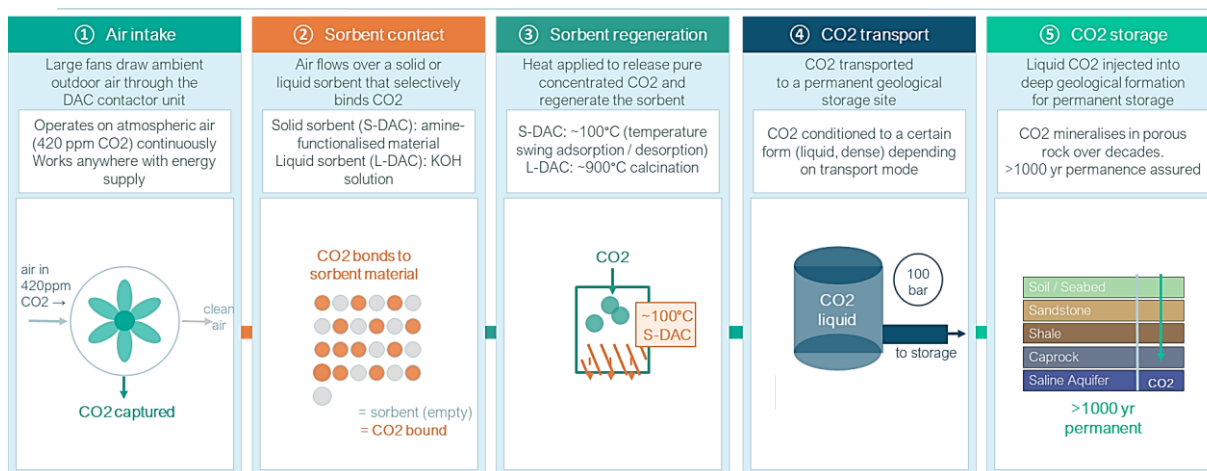
<sup>38</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

<sup>39</sup> IPCC (2022). AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

## Om teknologien og dens ressurskrav

DACCS er konseptuelt enkelt: et DAC-system bruker store vifter til å føre atmosfærisk luft gjennom en kontaktor der CO<sub>2</sub> fanges. Utfordringen er at CO<sub>2</sub> finnes i luft i svært lave konsentrasjoner (omtrent 420 ppm, eller 0,042%<sup>40</sup>), så separasjon krever store energimengder og høy luftgjennomstrømning. For å fjerne ett tonn CO<sub>2</sub> må et DACCS-anlegg behandle omtrent 2,4 millioner kubikkmeter luft, avhengig av driftsforhold og fangsteffektivitet.<sup>41</sup> Dette er grunnen til at DACCS-systemer har svært høye energibehov: omtrent 2-3 MWh per tonn CO<sub>2</sub> fjernet, inkludert energi til luftkontaktorer, regenerering av sorbent og komprimering av CO<sub>2</sub><sup>42</sup>, og denne energien må komme fra fornybare eller lavkarbonkilder for at netto karbonfjerning skal oppnås.

Figur 3 Hvordan DACCS fungerer



DACCS tilbyr en unik fordel sammenlignet med de fleste andre CDR-teknologier, fordi den ikke er avhengig av nærhet til en spesifikk utslippskilde eller biomassestrøm. I prinsippet kan et DACCS-anlegg bygges der hvor lavkarbonenergi og tilgang til varig CO<sub>2</sub>-lagring er tilgjengelig. Denne «lokasjonsfleksibiliteten» er imidlertid i praksis begrenset av behovet for en komplett nedstrøms verdikjede: CO<sub>2</sub> må kondisjoneres (ofte inkludert rensing og flytendegjøring), transporteres og injiseres i permanent lagring. Dersom geologisk lagring ikke er samlokalisert, må CO<sub>2</sub> transporteres til et lagringsknutepunkt, noe som øker både transportlogistikk og tilhørende utslipp i verdikjeden. For Oslo er permanent lagring avhengig av eksterne lagringsverdikjeder (f.eks. Northern Lights), og skipsbasert eksportinfrastruktur via Oslo Havn er derfor en nødvendig forutsetning snarere enn et valgfritt tillegg.

En praktisk egenskap ved DACCS som er relevant i Oslo-konteksten, er muligheten for fleksibel drift. En DACCS-enhet kan i prinsippet slås av og på, eller justere gjennomstrømningen, i respons på tilgjengelig elektrisitet og nettkapasitet. Forskning bekrefter at DAC-teknologier kan utformes slik at de opererer primært i perioder med lave strømpriser, noe som gir en mulighet til å redusere både driftskostnader og karbonintensiteten i elektrisiteten som brukes.<sup>43</sup> Denne fleksibiliteten er imidlertid ikke lik gjennom hele verdikjeden. Mens selve fangstenheten kan operere fleksibelt, er nedstrømsprosesser som komprimering og flytendegjøring av CO<sub>2</sub> generelt optimalisert for jevn drift. Drift ved delvis last eller med hyppige start- og stoppsyklusser gir lavere effektivitet og høyere kostnader. I det norske kraftsystemet kan perioder med høy

<sup>40</sup> NOAA Climate.gov (2025). Climate change: Atmospheric carbon dioxide. Tilgjengelig på: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (hentet mai 2026).

<sup>41</sup> IEA (u.å.). Direct Air Capture. Tilgjengelig på: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/direct-air-capture> (hentet april 2026).

<sup>42</sup> Ozkan, M. (2025). Atmospheric alchemy: The energy and cost dynamics of direct air carbon capture. MRS Energy & Sustainability, 12, 46–61. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1557/s43581-024-00091-5> (hentet april 2026).

<sup>43</sup> Postweiler, P., et al. (2026). Enhancing DACCS flexibility: Evaluating hardware modifications for cost-effective carbon dioxide removal.

vannkraftproduksjon relativt til etterspørselen gi overskuddskraft som kan utnyttes av DACCS. Denne fleksibiliteten innebærer imidlertid en direkte kostnadsulempe, siden drift ved lavere kapasitetsfaktor betyr at faste investeringer fordeles over færre tonn CO<sub>2</sub> fjernet per år.

DAC integrert i bygninger, der CO<sub>2</sub>-fangstenheter kobles til bygningers ventilasjons- og klimaanlegg (HVAC), er en fremvoksende idé som er utprøvd i et kommersielt kontorbygg i Aarhus i Danmark av Soletair Power.<sup>44</sup> Dette krever imidlertid en helt ny desentralisert infrastruktur for innsamling av CO<sub>2</sub> som ikke eksisterer i dag, og som vil være kostbar å etablere.

---

#### Boks 4 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier - DACCS

---

##### Verdens største DACCS anlegg - Mammoth<sup>45</sup>

**Utvikler:** Climeworks

**Lokasjon:** Island

**Status:** I drift

Mammoth ble satt i drift i 2024 og er i dag verdens største operative anlegg for direkte fangst av CO<sub>2</sub> fra luft. Anlegget har en designkapasitet på 36 000 tonn CO<sub>2</sub> per år og benytter modulære oppsamlingsenheter som i hovedsak drives med geotermisk energi. Den fangede CO<sub>2</sub>-en mineraliseres under bakken gjennom lagringssystemet Carbfix.

##### Phlair og NorDAC Kollsnes (Norge)<sup>46</sup>

**Utviklere:** Phlair og NorDAC Kollsnes (et datterselskap av Carbon Removal AS)

**Lokasjon:** Kollsnes

**Status:** Under utvikling (Planlagt oppstart: Ikke offentliggjort - partnerskap annonsert: Juli 2025)

Phlair og NorDAC Kollsnes utvikler et storskala anlegg for DACCS på Kollsnes i Øygarden på Vestlandet. Prosjektet ligger i umiddelbar nærhet til CO<sub>2</sub>-mottaksterminalen til Northern Lights, noe som gir direkte tilgang til eksisterende infrastruktur for transport og geologisk lagring av CO<sub>2</sub> offshore. Ved å samlokalisere anlegget med etablert CCS-infrastruktur ønsker prosjektet å redusere transportkostnader og muliggjøre raskere utrulling sammenlignet med frittstående DACCS-anlegg.

Prosjektet følger en trinnvis oppskaleringsstrategi. Første fase er planlagt med en fangstkapasitet på omtrent 60 000 tonn CO<sub>2</sub> per år, mens i andre fase er kapasiteten planlagt å økes til rundt 500 000 tonn CO<sub>2</sub> per år. Ved full utbygging vil anlegget være blant de største DACCS-prosjektene under utvikling i Europa.

Et særtrekk ved prosjektet er bruk av Phlairs helelektriske og lastfleksible DAC-teknologi. I motsetning til mange DAC-systemer som er avhengige av lavtemperaturvarme for regenerering av sorbenter, er Phlairs prosess utviklet for å fungere uten ekstern varmetilførsel. Dette gjør det mulig å tilpasse strømforbruket etter forholdene i kraftnettet og strømprisene, slik at driften kan flyttes til perioder med høy tilgjengelighet av fornybar energi. Prosjektet fungerer derfor ikke bare som et karbonfjerningsinitiativ, men også som et demonstrasjonsprosjekt for hvordan DACCS-teknologi kan samhandle med og potensielt støtte fremtidens kraftsystemer.

---

<sup>44</sup> Soletair Power (u.å.). Building-integrated DAC unit in Aarhus. Tilgjengelig på: <https://www.soletairpower.fi/soletair-power-bicc-onsite-unit-aarhus-denmark/> (hentet april 2026)

<sup>45</sup> Climeworks (2024), Climeworks switches on world's largest direct air capture plant, <https://climeworks.com/press-release/climeworks-switches-on-worlds-largest-direct-air-capture-plant-mammoth>

<sup>46</sup> Phlair. (u.å.). DACCS development with NorDAC, <https://phlair.com/news/carbon-removal-nordac>

## Fordeler, gevinster og barrierer

### Fordeler og gevinster:

#### *Robust MRV*

I et DACCS-system skjer CO<sub>2</sub>-fjerning innenfor en lukket, teknisk kontrollert prosess hvor alle strømmer kan måles og overvåkes direkte. Luftstrøm gjennom systemet kan kvantifiseres ved hjelp av vifter og strømningsmålere, mens CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner før og etter fangst overvåkes kontinuerlig. Fanget CO<sub>2</sub> kan deretter spores gjennom komprimering, transport og geologisk lagring ved bruk av etablerte industrielle MRV-metoder. Sammenlignet med mange andre CDR-løsninger tilbyr DACCS generelt høy grad av målbarhet og sporbarhet fordi karbonstrømmene håndteres i kontrollerte industrielle systemer fremfor gjennom variable biologiske prosesser. Når DACCS kombineres med permanent geologisk lagring, regnes teknologien derfor bredt som en av de mest robuste CDR-løsningene fra et MRV-perspektiv, og anses ofte som godt egnet for karbonmarkeder med høye integritetskrav.<sup>47</sup>

#### *Operasjonell fleksibilitet som kan bidra til balanse i kraftsystemet*

DACCS-systemer kan i prinsippet opereres fleksibelt, ved å øke driften i perioder med lavere elektrisitetsetterspørsel eller høy tilgjengelighet av fornybar kraft, og redusere driften i perioder med høy belastning. Enkelte DACCS-konfigurasjoner, særlig modulære fastsorbentsystemer, kan derfor være kompatible med fleksible strategier for integrasjon i kraftsystemet.<sup>48</sup> I vannkraftdominerte kraftsystemer som det norske kan perioder med relativt høy tilgjengelighet av fornybar elektrisitet skape muligheter for fleksibel drift av DACCS, selv om regionale nettbegrensninger fortsatt er en viktig begrensning i Oslo-området. Nyere studier antyder at DACCS-systemer kan designes med tiltak for operasjonell fleksibilitet, inkludert modulær drift og integrasjon av termisk lagring, noe som kan redusere behovet for kontinuerlig tilgjengelig toppplastkapasitet.<sup>49</sup> Intermitterende drift kan imidlertid også redusere den totale utnyttelsesgraden og øke kostnaden per tonn fjernet CO<sub>2</sub>.

### Barrierer:

#### *Per i dag det klart dyreste CDR-alternativet tilgjengelig for Oslo*

Med dagens kostnadsnivå på omtrent 600-1000 USD/tCO<sub>2</sub> er DACCS betydelig dyrere enn andre CDR-alternativer tilgjengelige for Oslo. Selv om kostnadene forventes å falle etter hvert som teknologien modnes og skaleres globalt, er det lite sannsynlig at de vil nå kostnadsnivået til andre relevante alternativer for Oslo innen 2040.

#### *Svært energikrevende i en by med begrenset nettkapasitet*

Strømnettet i Oslo og Akershus er allerede under press som følge av økende etterspørsel fra elektrifisering av transport, industri og datasentre. Statnett har identifisert begrenset ledig nettkapasitet for nye store kraftforbrukere, og nye tilknytninger krever i stor grad særskilte vilkår frem til planlagte nettforsterkninger (inkludert oppgradering til 420 kV) er gjennomført<sup>50</sup>. Oslo kommunes energistrategi prioriterer effektivisering

<sup>47</sup> Imperial College London (2024). Deployment potential of direct air capture and BECCS technologies – considerations for MRV. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/2407\\_CDR\\_CCUS/02\\_Mai\\_Bui.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/2407_CDR_CCUS/02_Mai_Bui.pdf) (hentet april 2026).

<sup>48</sup> Yang, L. & Wu, X. (2024). Net-zero carbon configuration approach for direct air carbon capture based integrated energy system considering dynamic characteristics of CO<sub>2</sub> adsorption and desorption. Applied Energy, 358. Tilgjengelig på: <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v358y2024ics0306261923019724.html> (hentet april 2026).

<sup>49</sup> American Chemical Society (2022). Optimal design and operation of solid sorbent direct air capture processes at varying ambient conditions. Industrial & Engineering Chemistry Research. Tilgjengelig på: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.2c00681> (hentet april 2026).

<sup>50</sup> NHO (u.å.). Kraftloftet Oslo og Akershus – regionalt kunnskapsgrunnlag. Tilgjengelig på: <https://www.nho.no/contentassets/c8e0357c8e584daab2ea6e1a53a1ee2d/kraftloftet-oslo-og-akershus---regionalt-kunnskapsgrunnlag--endelig.pdf> (hentet april 2026).

i det eksisterende energisystemet fremfor kapasitetsutvidelse, noe som innebærer at eventuell DACCS-utbygging må baseres på energi frigjort gjennom effektivisering, snarere enn ny produksjon.

#### *Utfordringer knyttet til politisk prioritering og sosialaksept*

DACCS er i dag blant de mest kostbare teknologiske CDR-løsningene, særlig på grunn av høyt energibehov. Byer med eksisterende avfallsforbrenningsanlegg og konsentrerte biogene CO<sub>2</sub>-kilder kan derimot være relativt godt posisjonert for å implementere BECCS til lavere kostnad enn frittstående DACCS-systemer. I Oslo kan dette skape følgende hensyn: det finnes fortsatt betydelige BECCS-muligheter knyttet til eksisterende avfalls- og energiinfrastruktur, mens storskala DACCS-utbygging sannsynligvis vil møte høyere kostnader og større begrensninger i kraftsystemet på kort sikt.

Samtidig kan et småskala DACCS-pilotanlegg lokalisert nær den planlagte CO<sub>2</sub>-terminalinfrastrukturen på Sjursøya være teknisk gjennomførbart, ettersom det potensielt kan utnytte deler av CO<sub>2</sub>-transport- og lagringsverdikjeden som utvikles for Klemetsrud CCS-prosjektet. Det vil imidlertid fortsatt være behov for skipsbasert transport av CO<sub>2</sub>, og lokalisering av DACCS-anlegg nærmere permanente lagringsknutepunkter (for eksempel ved Øygarden) kan redusere transportrelaterte utslipp og forenkle logistikk sammenlignet med plassering av fangstanlegg i Oslo.

Dette utelukker ikke fremtidig DACCS-utbygging i Oslo, særlig dersom teknologikostnadene faller og kapasiteten i kraftsystemet øker. Samtidig peker analysen på at det på kort sikt kan være mer hensiktsmessig å prioritere videre utvikling av tilgjengelige BECCS-muligheter, mens DACCS i første omgang kan utvikles gjennom pilot- og demonstrasjonsprosjekter.

### Relevans for Oslo

DACCS vurderes som en mindre relevant CDR-teknologi for Oslos 2040-mål. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 8 nedenfor.

Tabell 8 Resultater av relevansvurdering - DACCS

Vurdering av relevans for Oslo – **X**

EKSKLUDERT fra estimeringen av *realistisk* CDR-potensial; et pilotanlegg kan fortsatt være relevant

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor ekskludert | DACCS er teknisk gjennomførbart i Oslo gitt tilgang til Northern Lights-lagringsinfrastruktur via Sjursøya. Imidlertid gjør begrensninger i strømmettet og svært høye kostnader storskala implementering økonomisk utfordrende innen 2040. Et mindre pilotprosjekt kan være verdifullt for læring, men vil ikke bidra vesentlig til Oslos CDR-mål.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Hva som skal til   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Betydelige reduksjoner i kostnader for DACCS</li> <li>Gjennomføring av planlagte nettførsterkninger av Statnett eller identifisering av en dedikert lavkarbon energikilde (f.eks. overskuddsvarme kombinert med fornybar elektrisitet)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Verdt å nevne      | <p>Oslo kommune kan igangsette en egen mulighetsstudie for DACCS før det tas en investeringsbeslutning. Studien bør vurdere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>realistiske alternativer for nettilknytning</li> <li>fleksible driftsmodeller (drift primært utenfor vinterens høylastperioder)</li> <li>kostnadsfremskrivninger mot 2035-2040</li> <li>lokaliseringsbegrensninger på Sjursøya</li> </ul> <p>Studien kan også vurdere om lokalisering av DACCS nærmere Northern Lights-lagringsstedet (Øygarden) vil være å foretrekke fremfor lokalisering i Oslo, for å redusere transportutslipp.</p> |

## 2.4 Mineral karbonatisering

Tabell 9 Nøkkelegenskaper – Mineral karbonatisering

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | CO <sub>2</sub> reagerer med mineraler rike på kalsium eller magnesium for å danne stabile karbonatmineraler (i praksis omdannes CO <sub>2</sub> til stein). Denne reaksjonen skjer naturlig under forvitring av bergarter over geologiske tidsskalaer. Mineral karbonatisering som CDR akselererer denne prosessen. CO <sub>2</sub> må komme fra en biogen punktkilde eller fra direkte luftfangst. |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | 7-9 (TRL 9 er mineralisering i byggematerialer; lavere for silikatbasert CDR) <sup>51</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalsium- eller magnesiumrike mineraler (olivin, basalt eller alkaliske industrielle restmaterialer)</li> <li>• Tilgang på konsentrert biogen CO<sub>2</sub></li> <li>• Prosesseringsinfrastruktur for knusing, reaksjon og håndtering</li> <li>• Energi (primært elektrisitet til knusing)</li> </ul>                                                       |
| Permanens                       | >1000 år <sup>51</sup><br>Stabile karbonatmineraler vedvarer over geologiske tidsskalaer med neglisjerbar risiko for reversering.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| MRV-modenhet                    | Moderat.<br>Massebalansemetoder kan benyttes for ex-situ prosesser, men systemgrenser i livsløpsanalyser (inkludert utslipp fra utvinning, transport og prosessering) er omdiskutert i litteraturen.                                                                                                                                                                                                 |
| Kostnadsramme                   | 50-300 \$/tCO <sub>2</sub> , avhengig av prosessvalg (reaktivitet i råstoff, energikrevende forbehandling og driftsbetingelser, prosessstype: in situ vs. ex situ, bruk av tilsetningsstoffer/kjemikalier, teknologisk modenhet) <sup>52</sup>                                                                                                                                                       |

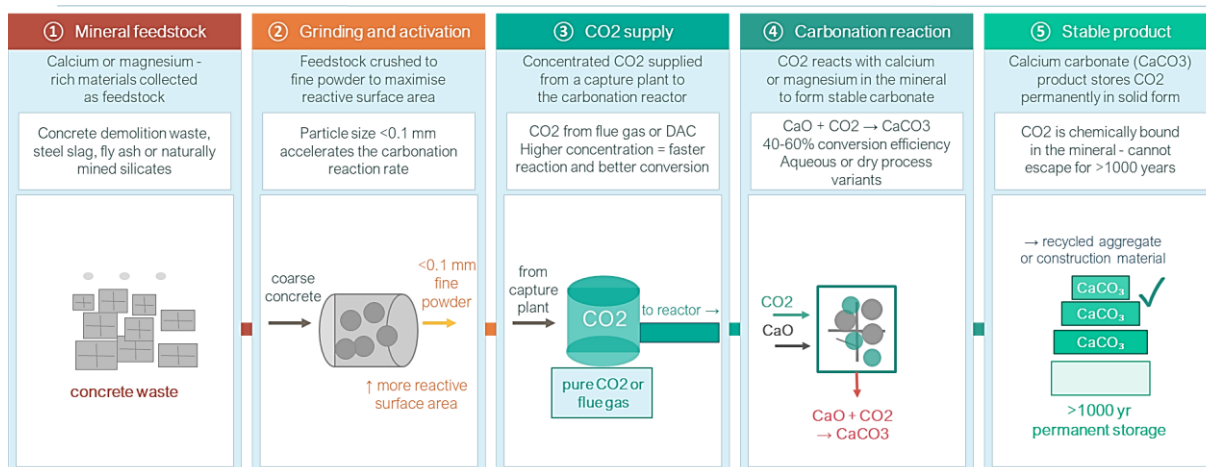
### Om teknologien og dens ressurskrav

Når CO<sub>2</sub> reagerer med visse mineraler, særlig de som inneholder magnesium- og kalsiumsilikater (f.eks. olivin og basalt), dannes faste karbonatmineraler. Dette er den samme kjemien som naturlig endrer bergarter over millioner av år, hvor silikatmineraler reagerer med CO<sub>2</sub> og gradvis omdannes til stabile karbonatmineraler. Mineral karbonatisering akselererer denne prosessen, enten i en industriell reaktor (ex-situ) eller ved å injisere CO<sub>2</sub> i reaktive geologiske formasjoner under bakken (in-situ).

<sup>51</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

<sup>52</sup> Sanna, A., et al. (2014). A review of mineral carbonation technologies to sequester CO<sub>2</sub>. Chemical Society Reviews. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/cs/c4cs00035h> (hentet april 2026).

Figur 4 Hvordan mineral karbonatisering fungerer



Med hensyn til mineralene som er tilgjengelige i Oslo kommune, er ex-situ-tilnærmingen mest relevant for Oslo. Ex-situ-prosessen fungerer som følger: et alkalisk mineral eller avfallsmateriale males til et fint pulver (som i stor grad øker den reaktive overflaten), blandes med en konsentrert biogen CO<sub>2</sub>-strøm i en reaktor, der det dannes et karbonatmateriale som kan brukes som tilslag i bygg, komponent i sement og betong eller deponeres på en sikker måte. Fordi CO<sub>2</sub> bindes kjemisk i fast stein, er lagringen i praksis permanent.

En kritisk praktisk faktor er materialvolumene som er involvert. Mineral karbonatisering krever svært store mengder råstoff i forhold til mengden CO<sub>2</sub> som fjernes: for olivin omtrent 1,6 tonn mineral per tonn CO<sub>2</sub> som lagres; for mindre reaktive materialer kreves det opptil 5 tonn per tonn CO<sub>2</sub>. Dersom primære mineraler (olivin, basalt) skulle benyttes, måtte disse transporteres fra Vest-Norge (omtrent 400-500 km fra Oslo), noe som ville medføre betydelige utslipp fra logistikk og økte kostnader som i stor grad kan svekke netto karbonbalanse. Dette er grunnen til at primære mineraler som olivin og basalt er ekskludert fra analysen for Oslo.

Oslo har imidlertid en lokalt generert alkalisk avfallsstrøm som kan brukes til mineral karbonatisering. I Oslo har mengden rivningsavfall vært relativt stabil, med opptil omtrent 77 kt potensielt tilgjengelig for mineral karbonatisering.<sup>53</sup> Kombinert med en biogen CO<sub>2</sub>-kilde, for eksempel CO<sub>2</sub> som separeres under biogassoppgradering på Bekkelaget, kan en mindre karbonatiseringsløsning være gjennomførbar. Det karbonatiserte materialet kan deretter tilbakeføres til Oslos egen verdikjede for byggematerialer.

In-situ mineral karbonatisering i basaltformasjoner i Oslofeltet har vært diskutert i forskningslitteraturen. VICCO-forskningscenteret ved Universitetet i Oslo fokuserer spesifikt på CO<sub>2</sub>-lagring i vulkansk-sedimentære systemer.<sup>54</sup> De relevante basaltformasjoner i Oslo-regionen ligger imidlertid enten offshore eller under et av Norges mest tettbefolkede områder, noe som gjør fysisk tilgang og storskala injeksjonsoperasjoner i praksis helt urealistisk.

Samlet sett vil mineral karbonatisering i Oslo sannsynligvis være begrenset til nisjeanvendelser innen bygg- og avfallssystemer, snarere enn storskala, selvstendig implementering, på grunn av begrensninger knyttet til materialer, logistikk og tilgjengelig biogen CO<sub>2</sub>.

<sup>53</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Inorganic material (waste component). Norske utslipp. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Waste/Uorganisk-materiale/?ComponentType=avfall&WasteComponentPageID=339> (hentet april 2026)

<sup>54</sup> University of Oslo (u.å.). VICCO – VISTA Centre for CO<sub>2</sub> Storage in Volcanic-Sedimentary Systems. Tilgjengelig på: <https://www.mn.uio.no/geo/english/research/projects/vicco/> (hentet april 2026).

## Boks 5 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier - Mineral karbonatisering

**Neustark<sup>55</sup>****Utvikler:** Neustark**Lokasjoner:** Sveits, Tyskland og andre europeiske land**Status:** Kommersiell drift

Neustark fanger biogen CO<sub>2</sub> fra kilder som biogassanlegg og transporterer det til anlegg for resirkulering av betong. CO<sub>2</sub>-en injiseres i resirkulert betongtilslag, hvor den mineraliseres permanent til stabile karbonatmineraler. Selskapets første kommersielle anlegg i Tyskland kan lagre om lag 1 000 tonn CO<sub>2</sub> per år, og selskapet driver nå flere anlegg rundt om i Europa.

**Carbon8 Systems<sup>56 57 58</sup>****Utvikler:** Carbon8 Systems**Lokasjon:** Storbritannia**Status:** Teknologien er kommersielt demonstrert, men utviklingsselskapet opphørte sin virksomhet i 2025

Carbon8 Systems var en av pionerene innen akselerert mineralkarbonatisering av alkaliske industrielle restmaterialer. Selskapet ble etablert i 2006 som en avlegger fra University of Greenwich og utviklet Accelerated Carbonation Technology (ACT), en prosess der CO<sub>2</sub> reagerer med alkaliske avfallsstrømmer som rester fra lufttrensning (APC-rester), sementovnstøv, stålindustrielle restprodukter og andre industrielle biprodukter for å danne stabile karbonatmineraler. Teknologien ble demonstrert i flere industrisektorer, inkludert avfallsforbrenning, sementproduksjon og stålindustri.

Et sentralt eksempel er utrulling av Carbon8s modulære CO<sub>2</sub>tainer™-system ved Vicats sementanlegg i Frankrike. Her ble fanget CO<sub>2</sub> fra røykgass brukt til å karbonisere opptil 12 000 tonn sement-bypass-støv per år, samtidig som prosessen produserte lette tilslag til byggeformål.

Selv om Carbon8 Systems gikk inn i administrasjon i 2025, var ACT-teknologien allerede kommersielt lisensiert og tatt i bruk gjennom industrielle partnere. Ifølge University of Greenwich produserte tre lisensierte anlegg i Storbritannia til sammen om lag 300 000 tonn karbonatiserte tilslag per år basert på teknologien. Caset viser at akselerert mineralkarbonatisering kan implementeres i industriell skala og integreres i eksisterende verdikjeder for avfallshåndtering og materialproduksjon.

**Fordeler, gevinster og barrierer****Fordeler og gevinster:**

*Utnytter avfallsmaterialer som i dag går til deponi*

Oslo genererer betydelige mengder alkaliske rivnings- og forbrenningsrester, inkludert aske, slagg og andre uorganiske mineralrike avfallsstrømmer fra avfallsforbrenning.<sup>59</sup> En betydelig andel av disse materialene deponeres i dag eller brukes i lavverdi anvendelser. Omdirigering av egnede alkaliske restmaterialer til

<sup>55</sup> Neustark. (u.å.). The science behind our solution: permanent CO<sub>2</sub> storage via surface mineralization  
<https://www.neustark.com/en/our-solution-mineralization>

<sup>56</sup> Carbon 8 Systems (2020), Direct Flue Gas capture of CO<sub>2</sub> and the production of aggregate for the construction industry,  
<https://www.co2value.eu/wp-content/uploads/2021/02/2020-12-15-Carbon-8-Systems-Mineralization-Workshop-CO2-Value-Europe.pdf>

<sup>57</sup> Carbon Capture Journal (2020), Carbon8 Systems commercially deploys CCUS systems at Vicat cement plant,  
<https://www.carboncapturejournal.com/ViewNews.aspx?NewsID=4376&>

<sup>58</sup> University of Greenwich (2021), Carbon8 Systems: Development and commercialisation of Accelerated Carbonation Technology (ACT) to produce carbon-negative aggregates for the construction industry, <https://www.gre.ac.uk/articles/res/research-case-study-prof-colin-hills-carbon8-systems-development-and-commercialisation-of-accelerated-carbonation-technology-act-to-produce-carbon-negative-aggregates-for-the-construction-industry>

<sup>59</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Inorganic material (waste component). Norske utslipp. Tilgjengelig på:  
<https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Waste/Uorganisk-materiale/?ComponentType=avfall&WasteComponentPageID=339>  
 (hentet april 2026).

mineral karbonatisering kan derfor skape en potensiell karbonfjerningsløsning med relativt begrenset konkurranse om råstoff sammenlignet med biomassebaserte CDR-løsninger. I tillegg til å muliggjøre karbonlagring kan bruk av disse materialene til karbonatisering også redusere behovet for deponering av enkelte avfallsfraksjoner og støtte en mer sirkulær håndtering av mineralske avfallsstrømmer.

### *Produserer gjenbrukbart tilslag til bygg- og anleggssektoren og «lukker» lokale kretsløp*

Karbonatiserte materialer basert på aske, slagg eller rivningsbetong kan potensielt gjenbrukes som sekundært tilslag i bygg- og anleggssektoren og erstatte jomfruelig grus og pukk i anvendelser som veilbygging, betongprodukter og andre anleggstekniske formål.<sup>60</sup> I urbane regioner med høy byggeaktivitet kan dette redusere behovet for uttak av primære masser og støtte mer sirkulær håndtering av mineralske avfallsstrømmer. I Oslo-kontekst kan lokalt produserte karbonatiserte tilslagsmaterialer potensielt redusere avhengigheten av importerte byggematerialer samtidig som de reduserer det innebygde karbonavtrykket i enkelte byggeanvendelser.

### *Krever ikke geologisk lagringsinfrastruktur*

I motsetning til BECCS og DACCS lagrer mineral karbonatisering CO<sub>2</sub> i stabil fast mineralform i prosesserte materialer, noe som eliminerer behovet for underjordisk injeksjon og omfattende infrastruktur for transport og lagring av CO<sub>2</sub>. Karbonatiseringsprosesser kan i prinsippet integreres direkte i industrielle materialbehandlingsanlegg, slik at fangst og lagring skjer innenfor samme verdikjede. I en urban kontekst som Oslo kan dette redusere avhengigheten av eksterne transport- og lagringsnettverk for CO<sub>2</sub> sammenlignet med BECCS-løsninger koblet til offshore lagringsinfrastruktur. Den resulterende verdikjeden er derfor potensielt enklere og mindre avhengig av koordinering på tvers av regioner enn geologiske CCS-baserte CDR-systemer.

### **Barrierer:**

#### *Tilgang på bio-CO<sub>2</sub> er i praksis den viktigste begrensende faktoren*

Ex-situ mineral karbonatisering krever tilgang til relativt konsentrerte og tilgjengelige CO<sub>2</sub>-strømmer for å oppnå tilstrekkelige karbonatiseringsrater og akseptabel prosessøkonomi. I Oslo er de største konsentrerte biogene CO<sub>2</sub>-kildene knyttet til avfallsforbrenningsinfrastruktur, særlig Klemetsrud og potensielt Haraldrud. I det realistiske scenariet vurdert i denne rapporten prioriteres disse større biogene CO<sub>2</sub>-strømmene til utrulling av BECCS, noe som begrenser mengden bio-CO<sub>2</sub> tilgjengelig for mineral karbonatiseringsløsninger.

#### *Høyt mineralbehov og store materialvolumer*

Omtrent 1,6-5 tonn reaktivt mineralmateriale kan være nødvendig per tonn CO<sub>2</sub> lagret gjennom mineral karbonatisering, avhengig av råstoffssammensetning, mineralogi og reaksjonseffektivitet. Ved det realistiske potensialet for mineral karbonatisering vurdert for Oslo vil den tilhørende etterspørselen etter alkaliske restmaterialer fortsatt ligge innenfor de estimerte mengdene av egnet aske, slagg og mineralavfall som i dag genereres i regionen. En betydelig oppskalering utover dette nivået vil imidlertid øke behovet for materialhåndtering vesentlig. Karbonatiseringsprosesser i industriell skala kan kreve knusing, maling, sortering, oppslamming, reaksjon og avvanning av store volum mineralmateriale, noe som øker energibruk, infrastrukturbehov og logistisk kompleksitet. I tillegg krever rivningsavfall og heterogene mineralrester ofte forbehandling og kvalitetskontroll for å oppnå tilstrekkelig renhet og reaktivitet for

<sup>60</sup> Kashani, A., Hameed, R., Khondoker, M. T. H., Li, W., Kim, T. & Tam, V. W. Y. (2025). Carbon utilization for low-carbon concrete: Prospects for carbonated steel slag and recycled concrete. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344925005750> (hentet april 2026).

karbonatiseringsprosesser.<sup>61</sup> Slike dedikerte sorterings- og prosesseringssystemer er foreløpig ikke etablert i stor skala i Oslo.

## Relevans for Oslo

Mineral karbonatisering vurderes som en relevant CDR-teknologi for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 10.

Tabell 10 Resultater av relevansvurdering – Mineral karbonatisering

Vurdering av relevans for Oslo – ✓

INKLUDERT i estimering av karbonfjerningspotensial

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor inkludert    | En realistisk og lokal løsning kan være basert på bruk av Oslos alkaliske rivningsavfall (omtrent 77 kt/år) kombinert med mindre biogene CO <sub>2</sub> -strømmer. Skalaen er i utgangspunktet begrenset, men løsningen har svært høy varighet, et sterkt lokalt forskningsmiljø og potensial for integrasjon med byggesektoren. |
| Nøkkel begrensninger | Primære mineraler (olivin, basalt) er ekskludert fra analysen for Oslo, ettersom transportavstand og volum ville svekke karbonbalansen. Biogen CO <sub>2</sub> til karbonatiseringsprosessen konkurrerer med BECCS ved Haraldrud og andre mindre kilder.                                                                          |
| Verdt å nevne        | Kvalitet og forurensningsnivåer i rivningsavfall og forbrenningsaske krever vurdering av forbehandling før storskala bruk. Oslo kommune bør samarbeide med VICCO-forskningssenteret og byggesektoren for å utvikle en mulighetsstudie for integrering av mineral karbonatisering i byens håndtering av rivnings- og byggeavfall.  |

## 2.5 Tre i bygg

Tabell 11 Nøkkelegenskaper – Tre i bygg

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Trær absorberer CO <sub>2</sub> fra atmosfæren under vekst. Når tømmeret brukes i en bygning, forblir dette karbonet lagret i byggets levetid, typisk flere tiår til over et århundre. Karbonet frigjøres til slutt når bygningen rives og treet brytes ned eller brennes, med mindre det da fanges gjennom en annen CDR-tilnærming (f.eks. BECCS eller biokull). |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 9. Fullt kommersialisert og utbredt, særlig i regioner med utviklet skog- og byggeindustri.                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bærekraftig produsert tømmer (sertifisert skogbruk)</li> <li>Byggeaktivitet og planpolitikk som støtter bruk av tre</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| Permanens                       | Midlertidig. Karbon lagres i flere tiår til omtrent 100 år, ikke permanent. Dette er en grunnleggende forskjell fra geologisk eller mineralbasert lagring.                                                                                                                                                                                                        |
| MRV-modenhet                    | Moderat.<br><br>Rammeverk finnes innen nasjonalt klimagassregnskap for høstede treprodukter.                                                                                                                                                                                                                                                                      |

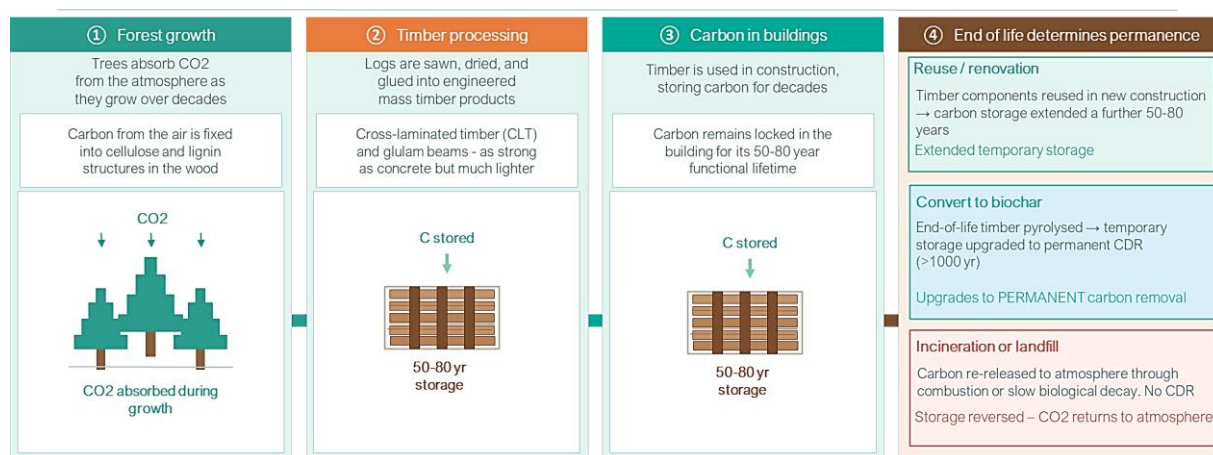
<sup>61</sup> IPCC (2005). Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage – Chapter 7. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter7-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf) (hentet april 2026).

| Tekniske egenskaper | Beskrivelse                                                                                                                                                |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kostnadsramme       | 100-200 USD/tCO <sub>2</sub> <sup>62</sup> , kostnadene kan være gunstige på grunn av samproduksjon av bygninger, der karbonlagring er en tilleggsgevinst. |

## Om teknologien og dens ressurskrav

Bruk av tre i bygg er den mest tilgjengelige CDR-tilnærmingen for Oslo fordi den ikke krever ny industriell infrastruktur eller teknologi, men bygger på Norges eksisterende, godt utviklede skog- og treindustri. Hvert tonn av trevirke som brukes i en bygning lagrer omtrent 2,6 tonn CO<sub>2</sub>e.<sup>63</sup> Så lenge bygningen står, er dette karbonet fjernet fra atmosfæren. Norge har bærekraftig forvaltede skoger (PEFC-sertifisert<sup>64</sup>) og en avansert treforedlingsindustri som allerede leverer til byggemarkedet.

Figur 5 Hvordan karbonfjerning i tre i bygg fungerer



Den viktigste utviklingen på dette området er utbredelsen av massivtre i høyere bygg. Produkter som krysslaminert tre (CLT) og limtre (glulam) gjør det nå mulig å bygge trekonstruksjoner på 10-18 etasjer og mer.<sup>65</sup> Dette er relevant for Oslo, der boligbyggingen i stor grad består av flerfamilieboliger og leilighetsbygg, som historisk har brukt betong og stål. Norske byggeregler har gradvis åpnet for høyere trebygg, og det er et økende antall av fleretasjes trebygg i norske byer.<sup>66</sup>

Den midlertidige karakteren av karbonlagringen må imidlertid forstås og kommuniseres tydelig. Karbon lagret i en bygning vil frigjøres ved endt levetid gjennom riving, nedbrytning eller forbrenning (typisk innen 50-100 år). Dette er ikke permanent CDR. Den langsiktige verdien av tre i bygg som CDR avhenger av:

1. hva som skjer med trevirket ved endt levetid (ideell omdirigering til biokull eller BECCS fremfor forbrenning)
2. kontinuerlig nybygging med tre som opprettholder det totale karbonlageret
3. om skogen som tømmeret kommer fra fortsatt fungerer som et karbonlager etter hogst.

<sup>62</sup> Timber Finance Initiative (u.å.). Mass timber carbon removals. Tilgjengelig på: <https://timberfinance.ch/en/carbon/mass-timber-carbon-removals/> (hentet april 2026).

<sup>63</sup> French Ministry of Agriculture (2025). Building with wood: Environmental and economic potential (Analysis No. 211). Tilgjengelig på: <https://agriculture.gouv.fr/building-wood-environmental-and-economic-potential-analysis-ndeg211> (hentet april 2026).

<sup>64</sup> PEFC (u.å.). PEFC website. Tilgjengelig på: <https://pefc.no/> (hentet april 2026).

<sup>65</sup> Seanite Construction (2025). What is mass timber? Engineered wood, CLT and glulam products, and the future of sustainable building. Tilgjengelig på: <https://seanitefl.com/mass-timber/> (hentet april 2026).

<sup>66</sup> Regjeringen (2025). Use of wood. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/en/topics/food-fisheries-and-agriculture/skogbruk/innsikt/bruk-av-tre/id2009518/> (hentet april 2026).

Tre i bygg bør ikke regnes på lik linje med permanente CDR-løsninger når Oslo fastsetter sitt CDR-mål for 2040.

### Boks 6 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier – Tre i bygg

#### Sara Kulturhus<sup>67</sup>

**Utvikler:** Skellefteå kommune

**Lokasjon:** Skellefteå

**Status:** I drift (ferdigstilt i 2021)

Sara Kulturhus er et av verdens største trebygg og et av de mest fremtredende eksemplene på storskala massivtrebygging. Det 20 etasjer høye komplekset kombinerer kulturhus, teater, bibliotek, kunstgalleri og hotell, med et samlet bruksareal på om lag 30 000 m<sup>2</sup>. Byggets bærekonstruksjon består hovedsakelig av krysslaminert tre (CLT) og limtre, med bruk av omtrent 10 700 m<sup>3</sup> CLT og mellom 2 200 og 2 600 m<sup>3</sup> limtre.

Trekonstruksjonen anslås å lagre rundt 9 000 tonn CO<sub>2</sub> i bygningsmaterialene. Prosjektet ble utformet for å maksimere bruken av lokalt produsert trevirke, hvor det meste av råstoffet kommer fra skogområder innenfor omtrent 60 km fra byggeplassen. I tillegg til karbonlagringen i materialene oppnådde prosjektet betydelige reduksjoner i innebygde utslipp sammenlignet med et tilsvarende bygg i stål og betong.

#### Mjøstårnet (Norge)<sup>68</sup>

**Utvikler:** AB Invest

**Lokasjon:** Brumunddal

**Status:** I drift (ferdigstilt i 2019)

Mjøstårnet er et 85,4 meter høyt trebygg på 18 etasjer som rommer leiligheter, hotellrom, kontorer, restauranter og offentlige funksjoner. Da bygget sto ferdig, ble det anerkjent som verdens høyeste trebygning.

Konstruksjonen benytter limtresøyler, limtrebjelker og fagverk i kombinasjon med dekker av krysslaminert tre (CLT). Omtrent 2 600 m<sup>3</sup> trevirke ble brukt i den bærende konstruksjonen. Prosjektet ble utviklet spesielt for å demonstrere den tekniske gjennomførbarheten av høye trebygg under norske klimatiske og regulatoriske forhold.

### Fordeler, gevinster og barrierer

#### Fordeler og gevinster:

*Den mest tilgjengelige CDR-løsningen som krever ingen ny industriell infrastruktur eller teknologi*

Tre i bygg bygger på Norges eksisterende og kommersielt modne skog-, sagbruks- og treforedlingsindustri. Konstruerte treprodukter som krysslaminert tre (CLT), limtre og andre massivtreløsninger er kommersielt tilgjengelige fra norske og skandinaviske leverandører og brukes i økende grad i fleretasjes bolig- og næringsbygg.<sup>69 70</sup> I motsetning til teknologiske CDR-løsninger som BECCS, DACCS eller mineral karbonatisering krever ikke karbonlagring i treprodukter dedikert infrastruktur for CO<sub>2</sub>-transport og -lagring eller industrielle karbonprosesseringsanlegg.

*Substitusjonseffekten dobler klimaeffekten*

Bruk av tre i stedet for konvensjonelle byggematerialer som betong og stål kan gi to ulike klimaeffekter. For det første forblir karbon absorbert under trevekst lagret i treproduktet gjennom byggets levetid, noe som

<sup>67</sup> WSP (u.å.), Sara Kulturhus: taking timber buildings to new heights, <https://www.wsp.com/en-gl/projects/sara-kulturhus-skelleftea>

<sup>68</sup> Moelven. (u.å.). Mjøstårnet <https://www.moelven.com/mjostarnet/>

<sup>69</sup> Moelven (u.å.). Mjøstårnet. Tilgjengelig på: <https://www.moelven.com/mjostarnet/> (hentet april 2026).

<sup>70</sup> European Commission (u.å.). Cross laminated timber building in Norway. Tilgjengelig på: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/case-studies/cross-laminated-timber-building-norway> (hentet april 2026).

skaper en form for midlertidig eller mellomlangsigtig biogen karbonlagring. For det andre kan substitusjon av tre for mer utslippsintensive materialer redusere innebygde utslipp knyttet til bygging, særlig der tre erstatter konstruksjonssystemer med høyt innhold av sement og stål. Den samlede klimaeffekten av trebygg kan derfor være betydelig større enn karbonlagringseffekten alene. I Oslo-kontekst kan økt bruk av tre i bygninger bidra både til karbonlagring i bygningsmassen og til oppnåelse av bredere kommunale mål knyttet til reduksjon av innebygde utslipp fra byggeaktivitet.

### Barrierer:

#### *Midlertidig lagring - den grunnleggende forskjellen fra permanent CDR*

Karbon lagret i trebygg stammer fra atmosfærisk CO<sub>2</sub> absorbert under trevekst og forblir lagret gjennom levetiden til treproduktet. I motsetning til geologisk lagring eller varige minerallagringsløsninger kan dette karbonet imidlertid på sikt returnere til atmosfæren gjennom nedbrytning, forbrenning eller sluttbehandling av trematerialene. Lagringstiden i bygninger er ofte i størrelsesorden flere tiår til over hundre år, avhengig av byggets levetid og muligheter for materialgjennbruk. Tre i bygg regnes derfor generelt som en form for midlertidig eller mellomlangsigtig karbonlagring snarere enn permanent karbonfjerning.

Av denne grunn er det viktig at Oslo kommune opprettholder et tydelig skille mellom svært varige CDR-løsninger med langsiktige lagringsegenskaper (som BECCS med geologisk lagring, biokull og mineral karbonatisering) og midlertidig karbonlagring i høstede treprodukter.

#### *Sluttbehandling er uavklart og i stor grad utenfor Oslo kommunes kontroll*

Den langsiktige klimaeffekten av karbonlagring i trebygg avhenger i stor grad av hvordan treproduktene håndteres ved slutten av byggets levetid. Ved endt levetid kan trematerialer gjenbrukes, resirkuleres, forbrennes til energiutnyttelse, omdannes til biokull eller håndteres gjennom andre avfallsbehandlingsløsninger, med ulike konsekvenser for langsiktig karbonlagring. Dersom trevirket forbrennes eller brytes ned uten tilknyttet karbonfangst, kan en betydelig andel av det lagrede biogene karbonet til slutt returnere til atmosfæren. Dersom sluttstrømmene av trevirke derimot kobles til BECCS, biokullproduksjon eller andre varige lagringsløsninger, kan permanensen til karbonlagringen økes. Fordi disse sluttbehandlingsutfallene avhenger av fremtidige teknologier, reguleringer, markeder og avfallshåndteringspraksiser, eksisterer det betydelig usikkerhet knyttet til den endelige varigheten av karbon lagret i bygninger i dag. Dette skaper et viktig skille mellom midlertidig karbonlagring i høstede treprodukter og permanente CDR-løsninger med mer forutsigbare langsiktige lagringsutfall.

#### *Er norske skoger bærekraftig forvaltet?*

Norsk skogbruk opererer innenfor et relativt strengt regulatorisk og sertifiseringsbasert rammeverk sammenlignet med mange globale tømmerproduserende regioner. Mesteparten av kommersielt drevet skogareal er sertifisert under PEFC-standarder<sup>71</sup>, som inkluderer krav knyttet til foryngelse, hensyn til biologisk mangfold, miljøbeskyttelse og langsiktig skogproduktivitet. Norsk skoglovgivning krever også foryngelse etter hogst, og nasjonale skoginventeringer gir kontinuerlig overvåkning av skogvekst, hogstrater og karbonlagre.<sup>72</sup>

Samtidig er bærekraften og klimaeffektene av norsk skogforvaltning gjenstand for aktiv debatt i forskningslitteraturen og i miljøpolitiske diskusjoner.<sup>73</sup> Kritikere argumenterer for at norsk skogbruk i stor grad er basert på ensaldrede produksjonsskoger, intensiv skogdrift og flatehogstsystemer, noe som kan påvirke biologisk mangfold, habitatkvalitet og økosystemers robusthet negativt. Det er også reist

<sup>71</sup> PEFC (u.å.). PEFC website. Tilgjengelig på: <https://pefc.no/> (hentet april 2026).

<sup>72</sup> Regjeringen (u.å.). Act relating to forestry (Forestry Act). Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/en/documents/Act-relating-to-forestry-Forestry-Act/id87139/> (hentet april 2026).

<sup>73</sup> López, L. N., Sjølie, H. K., Nabhani, A. & Aguilar, F. X. (2024). Impacts of biodiversity and carbon policies on the management of Norwegian forest and its ecosystem services. *Silva Fennica*, 58(4), artikkel 23067. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.14214/sf.23067> (hentet april 2026).

bekymringer knyttet til klimaeffektene av selve hogsten. Selv om hogde skoger plantes til igjen og etter hvert vokser opp på nytt, medfører flatehogst en umiddelbar reduksjon i karbonlagrene i skogen og kan midlertidig redusere skogens karbonopptak i flere tiår frem til ny vekst er etablert. Enkelte forskere argumenterer derfor for at biogent karbon fra høstet trevirke ikke automatisk kan behandles som klimanøytralt innenfor tidshorisonter som er relevante for klimapolitikk, særlig når kort- og mellomlangsiktige klimamål vurderes.<sup>74</sup>

Denne debatten er særlig relevant ved vurdering av tre i bygg som klima- eller karbonlagringsstrategi. Klimaeffekten av trebygg avhenger ikke bare av karbon lagret i høstede treprodukter, men også av antakelser om skogforvaltning, gjenveksthastigheter, unngåtte materialutslipp og sluttbehandling av treprodukter. Klimaeffekten av trebygg er derfor sensitiv for regnskapsforutsetninger og valgte tidshorisonter. Selv om bærekraftig forvaltede norske skoger kan gi et relativt robust grunnlag for trebaserte klimastrategier sammenlignet med regioner preget av avskoging, forblir usikkerheter og avveininger knyttet til biologisk mangfold, skogens karbondynamikk og langsiktig kapasitet som karbonsluk viktige hensyn i vurderingen av trevirkets rolle i Oslos bredere CDR- og klimastrategi.

## Relevans for Oslo

Tre i bygg vurderes som en relevant CDR-teknologi for Oslo, men som et komplementært tiltak gitt den midlertidige lagringen av CO<sub>2</sub> i denne løsningen. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 12.

Tabell 12 Resultater av relevansvurdering – Tre i bygg

Vurdering av relevans for Oslo – ✓

INKLUDERT i estimering av karbonfjerningspotensial

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor inkludert    | Tre i bygg utnytter eksisterende norsk infrastruktur, krever ingen ny teknologi eller større investeringer og gir storskala midlertidig karbonlagring. Det er en åpenbart komponent i Oslos samlede klimaportefølje.                                                                                                                                                                                                                     |
| Nøkkel begrensninger | Dette er midlertidig lagring, ikke permanent fjerning. Det må rapporteres og telles separat fra permanente CDR-løsninger (BECCS, mineral karbonatisering, biokull). Oslo kommune bør ikke bruke tall for tre i bygg for å oppfylle et mål om permanent CDR.                                                                                                                                                                              |
| Verdt å nevne        | Oslos boligstruktur domineres av leilighetsbygg og flerfamilieboliger, som bruker mindre trevirke enn lavere bebyggelse. Oslo kommune kan aktivt påvirke andelen trebygg gjennom planpolitikk og krav i offentlige anskaffelser for bygg. Håndtering av tre ved endt levetid bør adresseres: for eksempel kan det stilles krav om gjenbruk og deretter biokull eller BECCS, fremfor forbrenning, for å maksimere langsiktig klimaeffekt. |

## 2.6 Forsterket forvitring

Tabell 13 Nøkkelegenskaper – Forsterket forvitring

| Tekniske egenskaper          | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer | Silikatbergarter knuses til fint pulver og spres over jordbruksarealer eller kystområder. Mineralene løses opp og reagerer med CO <sub>2</sub> oppløst i jordvann eller sjøvann og danner stabile bikarbonater som til slutt føres til havet hvor |

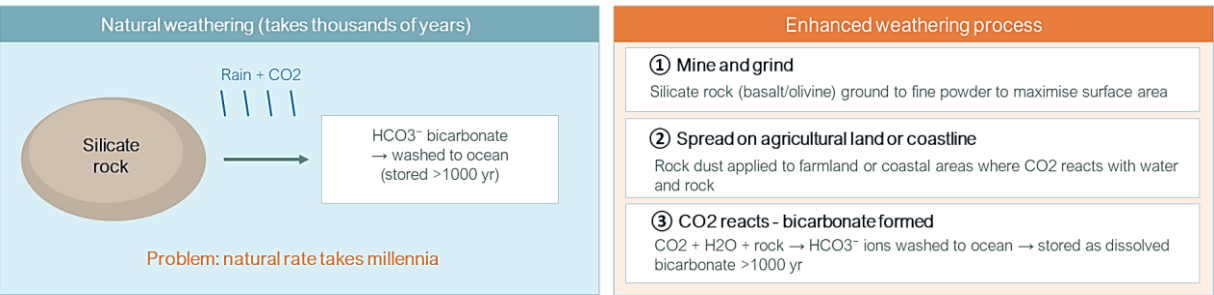
<sup>74</sup> Cherubini, F., Hunsberger, C., Junginger, M., Lassaletta, L., Ramachandran Nair, P. K., Røyne, F. & Strømman, A. H. (2012). Carbon accounting of forest bioenergy: Conclusions and recommendations from a critical literature review. European Commission Joint Research Centre. Tilgjengelig på: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC70663> (hentet april 2026).

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | de forblir lagret. Dette akselererer den naturlige forvittringsprosessen som har regulert atmosfærisk CO <sub>2</sub> over geologisk tid.                                                                                                                                                                                         |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 3-4, tidlig pilotstadium <sup>75</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Nøkkell ressurskrav             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Store mengder egnede mineraler (basalt, olivin, serpentin eller alkaliske restmaterialer)</li><li>• Omfattende jordbruks- eller kystarealer for spredning av mineraler</li><li>• Infrastruktur for knusing og distribusjon</li><li>• Energi til utvinning, knusing og transport</li></ul> |
| Permanens                       | >1000 år <sup>76</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| MRV-modenhet                    | Svært lav. Det finnes ingen standardiserte MRV-rammeverk. CO <sub>2</sub> -opptak skjer gjennom geokjemiske prosesser som er vanskelige å måle direkte i jord, grunnvann og overflatevann.                                                                                                                                        |
| Kostnadsramme                   | 50-200\$/tCO <sub>2</sub> avhengig av prosessvalg (energi til knusing, transportavstand, spredningsmetode, antagelser om forvittringshastighet) <sup>77</sup>                                                                                                                                                                     |

Om teknologien og dens ressurskrav

Forsterket forvitring fungerer ved å øke overflatearealet til reaktive bergarter som eksponeres for miljøet, og dermed fremskynde en prosess som naturlig ville tatt tusenvis av år. Knust silikatbergart, som basalt eller olivin, spres tynt utover jordbruksarealer (som gjødsel), hvor det løses opp i regn- og jordvann. Når det løses opp, reagerer det med CO<sub>2</sub> fra luften og danner bikarbonationer, som transporteres med grunnvann til elver og til slutt til havet, hvor de forblir lagret over lange tidsskalaer.

Figur 6 Hvordan forsterket forvitring fungerer



Forsterket forvitring bruker hovedsakelig elektrisitet til utvinning, knusing, maling, transport og spredning av mineraler som basalt. Det mest energikrevende steget er maling av stein til fine partikkelstørrelser for å øke hastigheten på CO<sub>2</sub>-opptaket. Transport kan også bidra betydelig til energibruken avhengig av transportavstand. Samlet sett har forbedret forvitring et relativt lavt energibehov (≈ 1 MWh per tCO<sub>2</sub>) sammenlignet med andre mineraliseringsløsninger, siden prosessen hovedsakelig er basert på mekanisk

<sup>75</sup> IPCC (2022). AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

<sup>76</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

<sup>77</sup> Carbon Limits. (2024). Developing CDR at scale and speed in Norway.

behandling fremfor varme eller reaktorsystemer. Energibehovet varierer imidlertid med bergartstype, partikkelstørrelse og logistikk.<sup>78</sup>

---

#### Boks 7 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier – Forsterket forvitring

---

##### Terradot<sup>79</sup>

**Utvikler:** Terradot

**Lokasjon:** São Paulo-regionen

**Status:** Kommersiell pilotutplassering

Terradot tilfører knust basalt til jordbruksarealer for å fremskynde naturlige forvitningsprosesser som permanent fjerner CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. I 2024 kunngjorde Frontier en kjøpsavtale tilsvarende omtrent 90 000 tonn fremtidige karbonfjerninger fra Terradots prosjekter. Dette gjør avtalen til en av de største innkjøpsavtalene for forsterket forvitring som er inngått til dags dato.

Prosjektet utnytter eksisterende landbruksinfrastruktur og steinmaterialer fra steinbrudd. Knust basalt transporteres til jordbruksområder og integreres i ordinære landbrukspraksiser.

##### Prosjekt Vesta<sup>80 81</sup>

**Utvikler:** Vesta

**Lokasjoner:** New York og North Carolina

**Status:** Pilotforsøk

I perioden 2022-2024 undersøkte Vesta kystnær forsterket forvitring, hvor olivinsand ble tilført strender og kystnære områder for å øke opptaket av CO<sub>2</sub> gjennom naturlige geokjemiske prosesser. De første pilotforsøkene omfattet omtrent 650 tonn olivinsand i Peconic Bay og rundt 5 350 m<sup>3</sup> olivinsand i Duck.

I motsetning til forbedret forvitring på jordbruksarealer kan kystbasert forsterket forvitring potensielt integreres med tiltak for kystforvaltning og strandnæring (beach nourishment). Dette skaper en sterkere kobling mellom karbonfjerningstiltak og kystsamfunn, inkludert byområder langs kysten.

---

#### Fordeler, gevinster og barrierer

---

##### Fordeler og gevinster:

*Ingen behov for ekstra infrastruktur*

Fordelen ved forsterket forvitring er at det i prinsippet kan implementeres i stor skala ved bruk av eksisterende landbruksinfrastruktur (traktorer, sprede) og uten behov for karbonfangstutstyr.

*Potensielle gevinster for jord og landbruk*

Spredning av knust silikatberg på jordbruksarealer kan øke jordens pH-verdi (gunstig i sure jordtyper), forbedre tilgjengeligheten av mikronæringsstoffer som kalsium, magnesium og silisium, og har i enkelte studier vært assosiert med økte avlinger for enkelte vekster.<sup>82</sup>

---

<sup>78</sup> Mühlbauer, M., et al. (2025). Assessment of technologies and economics for carbon dioxide removal from a portfolio perspective. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583624002408> (hentet april 2026).

<sup>79</sup> Frontier (u.å.), Terradot, <https://frontierclimate.com/portfolio/terrado>

<sup>80</sup> Hourglass Climate (u.å.), Coastal Enhanced Weathering Field Trial, <https://hourglassclimate.org/coastal-enhanced-weathering-field-trial>

<sup>81</sup> Vesta (u.å.), Duck Pilot, <https://www.vesta.earth/science/#Introduction>

<sup>82</sup> UN-DO (u.å.). Farmers. Tilgjengelig på: <https://un-do.com/farmers/> (hentet april 2026).

**Barrierer:***Lav teknologisk modenhet*

Forsterket forvitring er på TRL 3-4. Det svært lave teknologiske modenhetsnivået innebærer at forsterket forvitring ikke kan anses som en betydelig bidragsyter til CDR innen 2040. Faktisk CO<sub>2</sub>-opptak under feltforhold er svært usikkert og er fortsatt gjenstand for forskning.

*Svært umodne MRV-systemer*

Dette er teknologiens viktigste barriere for CDR-kreditering. Måling av hvor mye CO<sub>2</sub> som faktisk er fjernet krever sporing av oppløst bikarbonat gjennom jordvann, grunnvann, elver og til slutt havet. Dette representerer en kjede med mange usikre trinn og stor naturlig variasjon. Det finnes foreløpig ingen internasjonalt akseptert målestandard eller krediteringsmetodologi.

*Høye energi- og transportkostnader knyttet til maling og transport av mineraler*

Forsterket forvitring krever store mengder reaktivt mineralmateriale i forhold til mengden CO<sub>2</sub> som fjernes. Avhengig av mineralsammensetning, partikkelstørrelse og forvitringseffektivitet kan omtrent 1,6-5 tonn silikatberg være nødvendig per tonn CO<sub>2</sub> fjernet. Oslo har ingen lokal tilgang på egnede mineraler. Olivin utvinnes hovedsakelig på Vestlandet (Sunnmøre og Nordfjord, omtrent 400-500 km fra Oslo<sup>83</sup>), og transport av de svært store volumene ville medføre betydelige utslipp og logistikkostnader. Lokalt tilgjengelig alkalisk rivningsavfall kan være et alternativ til primære mineraler, men dette egner seg bedre for mineral karbonatisering i industrielle reaktorer, hvor utbytte og måling er mer pålitelig.

*Helse- og luftkvalitetsrisiko i urbane områder*

En annen utfordring som er spesifikk for en urban kontekst, er helserisikoen knyttet til fint mineralstøv. Silikatstøv, særlig fra enkelte mineraltyper, kan utgjøre en helserisiko (silikose) ved innånding.<sup>84</sup> I en tett befolkning by som Oslo kan håndtering og spredning av store mengder finmalt stein i nærheten av boligområder medføre risiko for folkehelse og luftkvalitet som kan være vanskelig å håndtere.

*Utilstrekkelig arealtilgang i Oslo*

Den mest betydningsfulle barriere for implementering av forsterket forvitring er behovet for store arealer med jordbruksland eller annet egnet areal for spredning av mineraler. Oslo har kun omtrent 9,5 km<sup>2</sup> jordbruksareal, hvorav omtrent 7,3 km<sup>2</sup> er fulldyrket, og dette arealet er allerede underlagt flere konkurrerende bruksformål.

**Relevans for Oslo**

Forsterket forvitring vurderes som en ikke-relevant CDR-teknologi for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 14.

Tabell 14 Resultater av relevansvurdering – Forsterket forvitring

Vurdering av relevans for Oslo – **X**

EKSKLUDERT fra estimeringen av CDR-potensialet.

Hvorfor ekskludert      Svært lavt TRL (3-4).

<sup>83</sup> Sibelco (u.å.). The world's largest commercial olivine deposit. Tilgjengelig på: <https://www.sibelco.com/en/150-years/aheim> (hentet april 2026).

<sup>84</sup> Fuss, S., et al. (2018). Negative emissions – Part 2: Costs, potentials and side effects. Environmental Research Letters. Tilgjengelig på: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f/pdf> (hentet april 2026).

Utilstrekkelig areal for meningsfull anvendelse. Forsterket forvitring er best egnet for store jordbrukslandskap, ikke tettbygde bykommuner.

Ingen lokal tilgang på mineraler. Transport av de store volumene av mineraler som kreves fra Vestlandet vil svekke netto karbonbalanse og medføre høye logistikkostnader.

Støv- og luftkvalitetsrisiko fra finmalt berg er uforholdsmessig alvorlig i et tett befolket urbant miljø. Håndtering av disse risikoene kan være krevende gitt nærhet til boligområder.

Underutviklet MRV innebærer at eventuelle påståtte karbonfjerninger fra forsterket forvitring vil mangle den nødvendige troverdigheten for et CDR-mål.

## 2.7 Blått karbon

Tabell 15 Nøkkelegenskaper – Blått karbon

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Kystøkosystemer, som ålegrasenger, saltmyrer og mangrover, absorberer CO <sub>2</sub> gjennom fotosyntese og lagrer det i biomassen og, viktigst, i underliggende sedimenter hvor oksygenfattige forhold i stor grad reduserer nedbrytning. Dette karbonet kan forbli lagret i århundrer under stabile økologiske og forvaltningsmessige forhold. |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 2-6 <sup>85</sup> som en CDR-teknologi.<br>Restaurering av økosystemer er godt forstått, men standardiserte rammeverk for storskala kvantifisering og kreditering av CDR er på et tidlig utviklingsstadium.                                                                                                                                   |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Egnede kystøkosystemer (ålegras, saltmyr eller mangrove)</li> <li>Tilgang til marine områder</li> <li>Langsiktig økologisk forvaltning og overvåking</li> <li>Unngåelse av forstyrrelser (mudring, eutrofiering, stormer).</li> </ul>                                                                      |
| Permanens                       | Lav, 10-100 år <sup>86</sup><br>Karbon kan forbli lagret i århundrer dersom økologiske forhold opprettholdes. Betydelig risiko for reversering dersom økosystemet forstyrres.                                                                                                                                                                     |
| MRV-modenhet                    | Lav.<br>Fragmenterte metoder, ingen internasjonalt anerkjent regnskapsstandard.<br>Måling av karbonlagre i sedimenter er teknisk krevende.                                                                                                                                                                                                        |
| Kostnadsramme                   | 100-10 000 \$/tCO <sub>2</sub> <sup>87</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

<sup>85</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

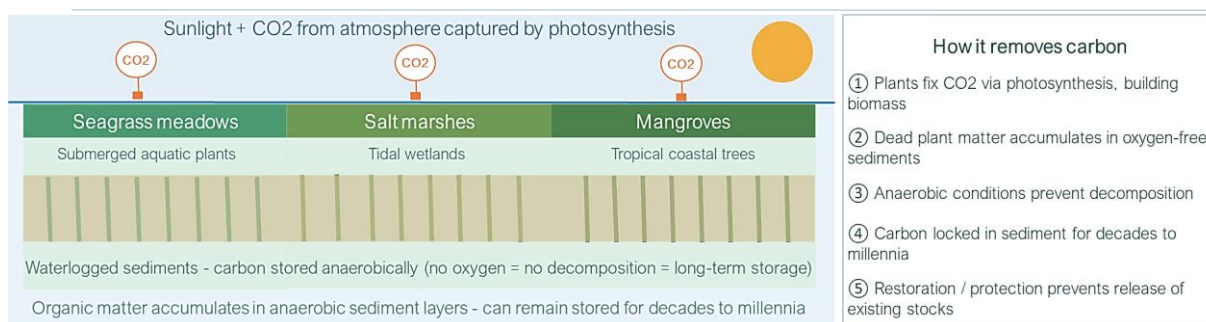
<sup>86</sup> IPCC (2005). Special report on carbon dioxide capture and storage – Chapter 7. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter7-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf) (hentet april 2026).

<sup>87</sup> Sanna, A., et al. (2014). A review of mineral carbonation technologies to sequester CO<sub>2</sub>. Chemical Society Reviews. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/cs/c4cs00035h> (hentet april 2026).

## Om teknologien og dens ressurskrav

Blått karbon refererer til karbon lagret i kystnære marine økosystemer, særlig ålegrasenger, saltmyrer og mangrover. Disse økosystemene er spesielt effektive til å lagre karbon fordi de akkumulerer organisk materiale i vannmettede sedimenter hvor nedbrytningen er svært langsom. Over tid bygger dette opp betydelige karbonlagre. Fra et CDR-perspektiv er to typer tiltak relevante: å beskytte eksisterende økosystemer mot degradering (som ellers ville frigjøre lagret karbon) og å restaurere degraderte områder for å øke karbonopptaket.

Figur 7 Hvordan blått karbon fungerer



Blått karbon krever ikke industriell infrastruktur eller ny teknologi, siden det bygger på naturlige økosystemprosesser. De viktigste forutsetningene er tilgang til egnede marine eller kystnære områder, langsiktig økologisk forvaltning og robust, langsiktig overvåking for å verifisere at karbonlagrene opprettholdes.

De pågående restaureringsprogrammene for ålegras har reell miljøverdi og bør videreføres. De bør imidlertid ikke fremstilles som et vesentlig bidrag til Oslos CDR-mål.

## Boks 8 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier – Blått karbon

### Restaurering av tareskog i Tromsø<sup>88</sup>

**Utvikler:** Trefader

**Partnere:** Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Vår Energi

**Lokasjon:** Rysstraumen

**Status:** Pilotprosjekt for forskning og utvikling

Trefader-prosjektet er for tiden det største kommersielle initiativet i Norge som fokuserer på restaurering av tareskog som et potensielt blått karbon-tiltak. Pilotområdet ligger i Rysstraumen, hvor omfattende tareskoger historisk har blitt degradert som følge av overbeiting fra kråkeboller. Prosjektet har som formål å restaurere disse økosystemene gjennom målrettet fjerning av kråkeboller, slik at tareskogen kan regenerere naturlig.

Prosjektet finansieres av Vår Energi, mens NIVA bidrar med vitenskapelig og teknisk støtte. Restaureringstiltakene følges opp med økologisk overvåking for å vurdere gjenvekst av tareskog, effekter på biologisk mangfold og endringer i det marine miljøet. Prosjektet skal generere vitenskapelig kunnskap om hvor effektiv restaurering av tareskog kan være som en naturbasert klimaløsning under norske kystforhold.

I motsetning til tropiske mangroveprosjekter, som lagrer store mengder karbon i sedimenter, fanger blå karbon-systemer basert på tare hovedsakelig karbon gjennom rask vekst av biomasse. En sentral utfordring er å fastslå hvor mye av dette karbonet som faktisk lagres over lange tidsperioder gjennom

<sup>88</sup> Trefadder. (u.å.). Norway's largest commercial project for kelp forest restoration <https://trefadder.no/norges-storste-kommersielle-prosjekt-for-restaurering-av-tareskog/>

transport til dype marine sedimenter eller andre langvarige karbonlagre. Derfor er et viktig mål med prosjektet å videreutvikle metodikk for måling, rapportering og verifisering (MRV) av karbonopptak knyttet til restaurerte tareskogøkosystemer.

### Fordeler, gevinster og barrierer

---

#### Fordeler og gevinster:

##### *Ingen behov for industriell infrastruktur*

Blått karbon fungerer gjennom naturlige økosystemprosesser. Restaurering gjennom replanting av ålegras, støtte til restaurering av saltmyrer eller reduksjon av næringsstofftilførsel benytter eksisterende miljøforvaltningsverktøy og krever ikke fangstutstyr, transportlogistikk eller geologisk lagring.

##### *Biologisk mangfold og økosystemer*

Ålegrasenger er blant de mest produktive og økologisk verdifulle kysthabitatene og leverer en rekke økosystemtjenester, inkludert oppvekstområder for fisk, sediment stabilisering, forbedret vannklarhet og støtte til marint biologisk mangfold. I Oslo er pågående restaureringstiltak for ålegras i Indre Oslofjord<sup>89</sup> primært motivert av bredere mål knyttet til økosystemrestaurering og vannkvalitet. Utvidelse og restaurering av ålegrasøkosystemer kan imidlertid også øke karbonopptak og karbonlagring i sedimenter som en potensiell gevinst. Dette skaper relativt sterk sammenheng mellom mål om økologisk restaurering og klimatiltak sammenlignet med mange teknologiske CDR-løsninger, hvor klimaeffekter og andre miljøpåvirkninger kan innebære større avveiningen.

#### Barrierer:

##### *Manglende permanens*

Karbon lagret i kystøkosystemer kan være sårbart for reversering gjennom fysisk forstyrrelse og økosystemdegradering. Stormskader, mudring, eutrofiering, oppvarming, sykdom, hypoksi og andre miljøstressfaktorer kan skade ålegras og kystnære sedimentsystemer og potensielt føre til frigjøring av tidligere lagret karbon. Den langsiktige permanensen til blåkarbonlagring er derfor mer usikker og miljøavhengig enn teknologiske løsninger basert på geologisk eller mineralsk lagring. Selv om kystøkosystemer kan lagre karbon over tidsskalaer fra flere tiår til århundrer under stabile forhold, forblir risikoen for reversering betydelig dersom økosystemforholdene forverres. I Oslofjord-kontekst skaper fortsatt økologisk press og usikkerhet knyttet til langsiktig økosystemgjenoppbygging usikkerhet om varigheten til karbonlagring knyttet til restaurering av ålegras.

##### *Ubetydelig CDR-potensial i Oslo sin spesifikke kontekst*

Indre Oslofjord er et relativt lite, lukket og intensivt brukt vannområde. Tilgjengelige kystområder egnet for blåkarbontiltak er svært begrensede, underlagt flere konkurrerende bruksområder (navigasjon, rekreasjon, verneområder) og allerede delvis benyttet til restaureringstiltak med forbedring av biologisk mangfold som hovedformål og ikke CDR. Det ekstra karbonopptakspotensialet fra restaurering av ålegras i Oslofjorden vil, selv under optimistiske forutsetninger, være i størrelsesorden hundrevis snarere enn tusenvis av tonn CO<sub>2</sub> per år.

---

<sup>89</sup> NIVA (2025). Ålegrass on the move: Oslo receives restoration assistance from neighboring municipalities. Tilgjengelig på: <https://www.niva.no/nyheter/alegras-pa-flyttefot-oslo-far-restaureringshjelp-fra-nabokommuner> (hentet april 2026).

## Relevans for Oslo

Blått karbon vurderes som en ikke-relevant CDR-teknologi for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 16.

Tabell 16 Resultater av relevansvurdering – Blått karbon

Vurdering av relevans for Oslo – **X**

EKSKLUDERT fra estimeringen av CDR-potensialet

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor ekskludert | <p>Ubetydelig CDR-potensial innenfor Oslos kommunegrenser. Tilgjengelig kystareal er altfor begrenset til å gi meningsfull karbonfjerning i en skala som er relevant for et kommunalt CDR-mål.</p> <p>Indre Oslofjord er intensivt brukt og underlagt flere konkurrerende bruksområder og regulatoriske rammer. Det er ingen realistisk mulighet for å utvide tilgjengelig marint areal for blåkarbontiltak.</p> <p>Aktive restaureringsprogrammer for ålegras pågår med et biologisk mangfold som hovedformål. Disse har verdi og bør videreføres, men er ikke primært CDR-prosjekter og bør ikke omdefineres som dette.</p> <p>MRV for blått karbon er fortsatt underutviklet og fragmentert. Påstander om karbonfjerning fra Oslos ålegrasenger kan per i dag ikke dokumenteres til den standarden som kreves for et troverdig CDR-mål.</p> |
| Verdt å nevne      | <p>Blått karbon kan bli et komplementært virkemiddel utenfor Oslos kommunegrenser, for eksempel som del av bredere restaureringsprogrammer for Oslofjorden som involverer flere kommuner.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

## 2.8 Økt alkalinitet i havet (OAE)

Tabell 17 Nøkkelegenskaper – OAE

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Alkaliske stoffer (knuste mineraler, kalk, elektrokjemisk produserte alkaliske løsninger) tilsettes sjøvann, noe som øker dets evne til å absorbere CO <sub>2</sub> ved å omdanne det til stabile oppløste bikarbonat- og karbonationer. |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 1-2 <sup>90</sup> .<br>I hovedsak begrenset til laboratoriestudier og tidligfase modellering. Ingen kommersiell implementering.                                                                                                      |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Store mengder alkalisk materiale</li> <li>• Marint miljø med tilstrekkelig vannsirkulasjon</li> <li>• Infrastruktur for prosessering, transport og distribusjon</li> <li>• Energi</li> </ul>    |
| Permanens                       | Potensielt høy (>1000 år)                                                                                                                                                                                                                |
| MRV-modenhet                    | Svært lav.                                                                                                                                                                                                                               |

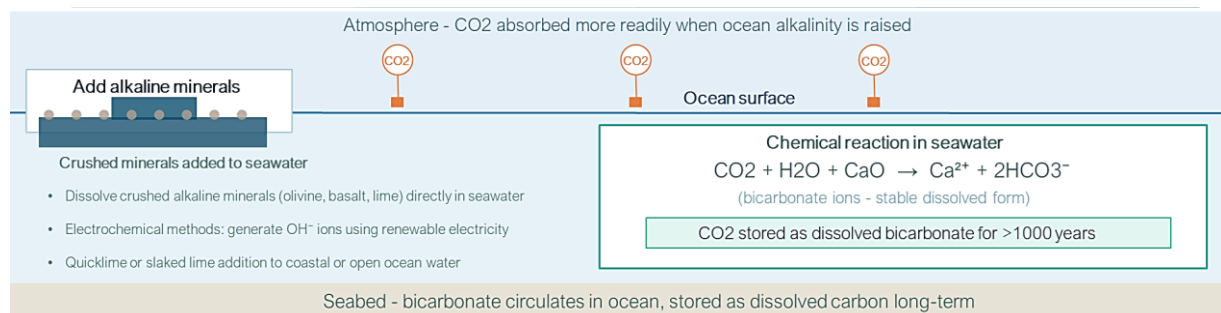
<sup>90</sup> IPCC (2022). AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

| Tekniske egenskaper | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Sporing av alkalinitetens spredning og det å skille CO <sub>2</sub> -opptak drevet av OAE fra naturlig variasjon i havet i åpne systemer er foreløpig ikke teknisk gjennomførbart i stor skala.                                                                                        |
| Kostnadsramme       | 40-260 \$/tCO <sub>2</sub> , avhengig av prosesskonfigurasjon (f.eks. mineralbasert vs. elektrokjemisk), energikostnader og potensielle inntekter fra biprodukter som hydrogen (H <sub>2</sub> ), som genereres i elektrokjemiske OAE-systemer gjennom spalting av vann. <sup>91</sup> |

### Om teknologiene og deres ressurskrav

OAE bygger på et grunnleggende kjemisk prinsipp om at havets evne til å ta opp CO<sub>2</sub> kan økes ved å tilføre alkalinitet til sjøvann. Når alkaliniteten øker, forskyves karbonatsystemet i havet slik at mer atmosfærisk CO<sub>2</sub> absorberes og lagres som stabile bikarbonat- og karbonationer over lange tidsskalaer. I praksis innebærer OAE typisk tilførsel av alkalisk materiale som knust silikatbergart (f.eks. olivin), kalkstein eller elektrokjemisk produserte alkaliske løsninger til marine miljøer.<sup>92</sup>

Figur 8 Hvordan OAE fungerer



OAE er sterkt avhengig av tilgang på store mengder alkalisk materiale. Dersom naturlige mineraler brukes, kreves gruvedrift, knusing og maling av betydelige bergvolumer for å oppnå tilstrekkelig reaktiv overflate. Reaksjonshastigheten i sjøvann er ofte langsom, og finmalt materiale er derfor nødvendig for å øke oppløsningshastigheten.<sup>93</sup> Dette innebærer betydelige energibehov til knusing, prosessering og transport av mineraler. Alternativt kan alkalinitet produseres elektrokjemisk, men dette krever store mengder elektrisitet og prosessanlegg.

OAE krever også omfattende logistikk- og distribusjonsinfrastruktur. Materialene må transporteres til kystområder og distribueres i havet ved hjelp av skip, rørledninger eller dedikerte utslippssystemer. Havneinfrastruktur er derfor en viktig forutsetning for storskala implementering. I tillegg kreves overvåkningssystemer for å følge utviklingen i vannkjemi og spredning av alkalinitet i marine miljøer.

<sup>91</sup> Sanchez, et al. (2025). Carbon removal efficiency and energy requirement of engineered carbon removal technologies. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2025/su/d4su00552j> (hentet april 2026).

<sup>92</sup> MIT (u.å.). Ocean alkalinity enhancement. Tilgjengelig på: <https://climate.mit.edu/explainers/ocean-alkalinity-enhancement> (hentet april 2026).

<sup>93</sup> GEOMAR (u.å.). Ocean alkalinity enhancement. Tilgjengelig på: <https://www.geomar.de/en/discover/ocean-for-climate-protection/carbon-uptake-in-the-ocean/ocean-alkalinity-enhancement> (hentet april 2026).

## Boks 9 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier – OAE

LOC-NESS<sup>94 95</sup>**Utvikler:** Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI)**Lokasjon:** Wilkinson Basin, Gulf of Maine, USA**Status:** Gjennomført feltforsøk (2025)

LOC-NESS-prosjektet er det første havbaserte forsøket OAE i USA som har fått tillatelse fra det amerikanske miljøverndirektoratet (EPA). I august 2025 spredte forskerne over 60 000 liter natriumhydroksidløsning i løpet av seks timer innenfor et forsøksområde på omtrent 1 km<sup>2</sup> i Gulf of Maine. Forsøket ble overvåket ved hjelp av forskningsfartøy, autonome undervannsfarkoster, glidere, vannprøvetaking, planktonundersøkelser og satellittobservasjoner. Alkalinitetsplumen utvidet seg til en diameter på omtrent 800 meter under eksperimentet. Hovedformålet med prosjektet var ikke karbonfjerning i stor skala, men å validere metoder for miljøovervåking, tillatelsesprosesser og måling, rapportering og verifisering (MRV). Godkjenningssprosessen hos EPA varte i omtrent ett år og inkluderte to offentlige høringsrunder på til sammen 75 dager, samt mer enn 250 innspill fra interessenter.

Planetary Technologies<sup>96</sup> (Canada/USA)**Utvikler:** Planetary Technologies**Lokasjoner:** Halifax (Canada) og kystnære pilotlokasjoner i Nord-Amerika**Status:** Pilotimplementering

Planetary Technologies er blant de mest avanserte kommersielle utviklerne innen OAE. Selskapet benytter alkaliske materialer for å øke havets alkalinitet gjennom eksisterende kystnær og industriell vanninfrastruktur. Målet er å styrke havets naturlige evne til å absorbere CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, samtidig som det genereres målbare karbonfjerninger. I motsetning til offshore-løsninger som baserer seg på fartøy, fokuserer Planetary på integrasjon med eksisterende infrastruktur, som industrielle vannsystemer og utslippspunkter for avløpsvann. Denne tilnærmingen kan redusere både kostnader og operasjonell kompleksitet ved implementering av teknologien.

## Fordeler, gevinster og barrierer

## Fordeler og gevinster:

*Potensielle gevinster for havkjemi*

Ved å øke alkaliniteten kan OAE lokalt motvirke enkelte effekter av havforsuring forårsaket av økende atmosfæriske CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner.<sup>97</sup> Havforsuring kan påvirke kalkdannende marine organismer negativt, som skjell, koraller og enkelte planktonarter. I prinsippet kan OAE derfor skape delvis sammenfall mellom mål om karbonfjerning og beskyttelse av marine økosystemer som er sårbare for forsuring, særlig i regioner hvor endringer i havkjemi allerede overvåkes tett.

<sup>94</sup> Wood Hole oceanographic institution (2026), Preliminary results from the first EPA-permitted ocean alkalinity enhancement (OAE) field trial, <https://www.whoi.edu/press-room/news-release/oae-prelim>

<sup>95</sup> National Fisherman (2025), Gulf of Maine sees first open-water ocean alkalinity enhancement field trial in US, <https://www.nationalfisherman.com/gulf-of-maine-sees-first-open-water-ocean-alkalinity-enhancement-field-trial-in-us>

<sup>96</sup> Planetary (u.å.) Planetary's OAE, <https://www.planetarytech.com/science/planetarys-oae/>

<sup>97</sup> National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022). A research strategy for ocean-based carbon dioxide removal and sequestration. Tilgjengelig på: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26278/a-research-strategy-for-ocean-based-carbon-dioxide-removal-and-sequestration> (hentet april 2026).

*Potensiell integrasjon med hydrogenproduksjon*

Noen elektrokjemiske OAE-løsninger produserer hydrogen som et biprodukt gjennom vannspaltningsprosesser.<sup>98</sup> Dersom dette hydrogenet kan utnyttes eller selges som et lavutslippsdrivstoff eller industrielt innsatsprodukt, kan det forbedre den totale økonomien i systemet og delvis kompensere for kostnadene ved karbonfjerning. Disse integrerte konseptene befinner seg imidlertid fortsatt på et tidlig forsknings- og demonstrasjonsstadium, og deres kommersielle levedyktighet er fortsatt usikker.

**Barrierer:***Svært lav teknologisk modenhet*

OAE befinner seg fortsatt på et tidlig stadium av teknologisk og vitenskapelig utvikling sammenlignet med de fleste andre CDR-løsninger. Selv om den underliggende karbonatkjemien er godt forstått, reiser implementering i stor skala i åpne marine miljøer betydelige uløste spørsmål knyttet til spredning, økosysteminteraksjoner, operasjonelt design og langsiktig overvåking. Til dags dato er det kun gjennomført begrensede pilot- og feltforsøk, og det finnes ingen storskala kommersiell utrulling av OAE.

*Betydelig MRV-usikkerhet*

Overvåking, rapportering og verifisering (MRV) for OAE er fortsatt svært utfordrende. Det er vanskelig å verifisere at tilførsel av alkalinitet faktisk resulterer i en kvantifiserbar økning i opptak av atmosfærisk CO<sub>2</sub>, fordi havstrømmer raskt sprer alkaliniteten, samtidig som naturlig variasjon i karbonatkjemien er stor og romlig heterogen.<sup>99</sup> Å attribuere observert CO<sub>2</sub>-opptak spesifikt til OAE-tiltak krever derfor omfattende overvåking, modellering og håndtering av usikkerhet.

*Økologiske risikoer*

OAE endrer sjøvannskjemien, inkludert pH, alkalinitet og karbonatmetningstilstander. Avhengig av skala, materialtype og miljøforhold kan disse endringene påvirke marine økosystemer og sårbare organismer<sup>100</sup>, inkludert planktonsamfunn og tidlige livsstadier hos skjell og andre kalkdannende arter.<sup>101 102</sup> Potensielle effekter er fortsatt usikre og vil sannsynligvis variere betydelig mellom ulike marine miljøer.

*Begrenset egnethet for Oslofjorden*

OAE krever tilgang til store marine områder med tilstrekkelig vannsirkulasjon og vannvolum. I Oslo-kontekst er det relevante vannområdet Indre Oslofjord, som er en relativt liten (fjorden er totalt omtrent 100 km lang<sup>103</sup>, men det indre området nær Oslo er langt mindre), grunn og lukket fjord med begrenset vannsirkulasjon, særlig om vinteren. Fjorden brukes intensivt til skipsfart, rekreasjon og naturvern. Aktiv økologisk restaurering (inkludert restaurering av ålegras) pågår allerede i sårbare kystnære områder.

<sup>98</sup> Suba, P. I. V., Gopalakrishnan, A., Radović, J. R., Tutolo, B. M., Larter, S., Karan, K. & Thangadurai, V. (2023). Electrochemical ocean alkalinity enhancement using a calcium ion battery. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583623001822> (hentet april 2026).

<sup>99</sup> Ho, D. T., Bopp, L., Palter, J. B. & Long, M. (2023). *Monitoring, reporting, and verification for ocean alkalinity enhancement*. *State of the Planet*, 2 (OAE2023), 1–12. <https://doi.org/10.5194/sp-2-oea2023-12-2023>. Tilgjengelig på: [https://www.researchgate.net/publication/388279087\\_Monitoring\\_reporting\\_and\\_verification\\_for\\_ocean\\_alkalinity\\_enhancement](https://www.researchgate.net/publication/388279087_Monitoring_reporting_and_verification_for_ocean_alkalinity_enhancement) (hentet april 2026).

<sup>100</sup> ENGIE Innovation (2024). Emerging sustainable technologies 2024. Tilgjengelig på: [https://innovation.engie.com/en/sustainable\\_technologies\\_download/add/2024](https://innovation.engie.com/en/sustainable_technologies_download/add/2024) (hentet april 2026).

<sup>101</sup> Das, S. & Mangwani, N. (2015). Ocean acidification and marine microorganisms: Responses and consequences. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0078323415000925> (hentet april 2026).

<sup>102</sup> Guo, J. A., Strzepek, R. F., Yuan, Z., Swadling, K. M., Townsend, A. T., Achterberg, E. P., Browning, T. J. & Bach, L. T. (2025). Effects of ocean alkalinity enhancement on plankton in the Equatorial Pacific. *Communications Earth & Environment*. Tilgjengelig på: <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02248-7> (hentet april 2026).

<sup>103</sup> Oslo byleksikon (u.å.). Oslofjorden. Tilgjengelig på: <https://oslobyleksikon.no/side/Oslofjorden> (hentet april 2026).

Relevans for Oslo

OAE vurderes som ikke-relevante CDR-teknologier for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 18 nedenfor.

Tabell 18 Resultater av relevansvurdering – OAE

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vurdering av relevans for Oslo – X             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| EKSKLUDERT fra estimeringen av CDR-potensialet |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Hvorfor ekskludert                             | TRL 1-2, dvs. før-kommersielt.<br><br>Indre Oslofjord er lukket, økologisk sårbar og gjenstand for aktiv restaurering. OAE krever tilstrekkelig havsirkulasjon og marint areal som Oslos vannområder ikke kan tilby.<br><br>Miljørisiko (endringer i pH, forstyrrelse av økosystemer) kan være uforholdsmessig høy i denne konteksten. |
| Verdt å nevne                                  | OAE kan bli relevant i et perspektiv etter 2040, særlig dersom de lokaliseres i åpne kyst- eller offshoreområder fremfor i Oslo. Oslo kommune bør følge internasjonal forskningsutvikling innen disse teknologiene.                                                                                                                    |

2.9 Direkte havbasert karbonfangst og -lagring (DOCCS)

Tabell 19 Nøkkelegenskaper – DOCCS

| Tekniske egenskaper             | Beskrivelse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvordan karbonfjerning skjer    | Sjøvann behandles gjennom lukkede elektrokjemiske systemer (elektrodialyse eller elektrolyse) som separerer oppløst CO <sub>2</sub> . Det CO <sub>2</sub> -fattige vannet returneres til havet (hvor det igjen tar opp CO <sub>2</sub> fra atmosfæren), mens den fangede CO <sub>2</sub> -en komprimeres og lagres i geologiske formasjoner. Fordi CO <sub>2</sub> -konsentrasjonen i sjøvann er høyere enn i luft, kan DOCCS i prinsippet være mer energieffektivt enn DACCS. |
| Teknologisk modenhetsnivå (TRL) | TRL 2 <sup>104</sup><br><br>Svært tidlig stadium; ingen kommersiell implementering.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Nøkkel ressurskrav              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Kontinuerlig tilgang til store mengder sjøvann</li><li>• Lavkarbonelektrisitet for elektrokjemisk prosessering</li><li>• Komprimering og transport av CO<sub>2</sub> til lagring</li><li>• Egnede kystnære eller offshore lokasjoner.</li></ul>                                                                                                                                                                                        |
| Permanens                       | >1000 år <sup>105</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| MRV-modenhet                    | Moderat for fangst- og lagringskjeden, men verifisering av at fjerning av CO <sub>2</sub> fra sjøvann faktisk fører til netto opptak av CO <sub>2</sub> fra atmosfæren er ennå ikke fullt standardisert.                                                                                                                                                                                                                                                                       |

<sup>104</sup> Mertens, et al. (2024). Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

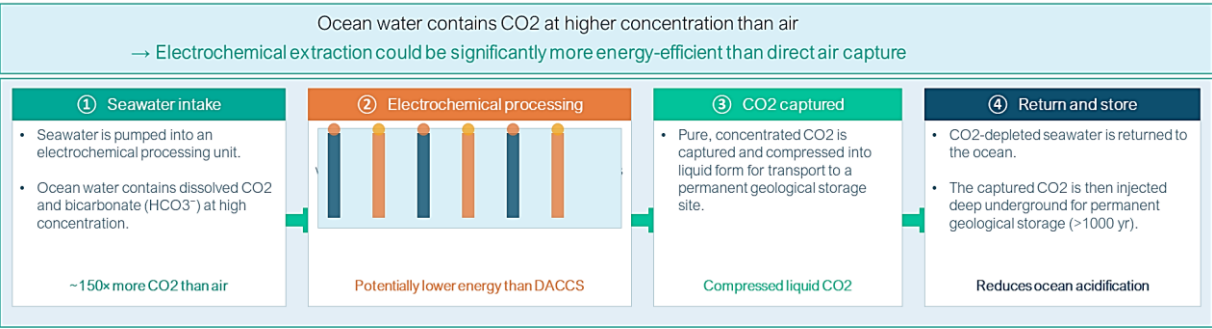
<sup>105</sup> Oelkers, E. H., et al. (2023). Moving subsurface carbon mineral storage forward. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772656823000027> (hentet april 2026).

|                     |                                            |
|---------------------|--------------------------------------------|
| Tekniske egenskaper | Beskrivelse                                |
| Kostnadsramme       | 100-600 \$/tCO <sub>2</sub> <sup>106</sup> |

Om teknologiene og deres ressurskrav

Direct Ocean Carbon Capture and Storage (DOCCS, ofte omtalt som DOC) er en havbasert CDR-teknologi som fjerner CO<sub>2</sub> direkte fra sjøvann og lagrer den i marine eller geologiske lagre. Vanligvis behandles sjøvann i et lukket system (for eksempel elektrolyse eller elektrodialyse) for å separere CO<sub>2</sub>, hvorpå det CO<sub>2</sub>-reduerte vannet returneres til havet, mens den fangede CO<sub>2</sub>-en lagres under bakken (geologisk lagring). Flere teknologiske tilnærminger er under utvikling, inkludert elektrodialytiske systemer som forsurer vann for å frigjøre CO<sub>2</sub>, og elektrolytiske systemer som splitter sjøvann til hydrogen og oksygen samtidig som de muliggjør CO<sub>2</sub>-ekstraksjon.<sup>107 108</sup>

Figur 9 Hvordan DOCCS fungerer



DOCCS krever behandling av svært store sjøvannsvolumer. Sjøvann må pumpes kontinuerlig gjennom prosessanlegg der CO<sub>2</sub> separeres ved hjelp av elektrokjemiske celler, membraner eller kjemiske løsninger. Dette gir betydelige energibehov, særlig knyttet til pumping, elektrolyse, CO<sub>2</sub>-separasjon og komprimering. Tilgang på store mengder lavkarbon elektrisitet er derfor en grunnleggende forutsetning for teknologien.

Etter fangst må CO<sub>2</sub>-en komprimeres og transporteres til permanent geologisk lagring på tilsvarende måte som ved konvensjonelle CCS-systemer. DOCCS er derfor avhengig av en fullstendig CCS-verdikjede, inkludert mellomlagring, transportinfrastruktur og tilgang til geologiske lagringsreservoarer. Dersom lagring ikke er samlokalisert med fangstanlegget, kreves transport via skip eller rørledning til et lagringssted.

Boks 10 Eksisterende pilotprosjekter og casestudier – DOCCS

**Captura (USA)<sup>109</sup>**

**Utvikler:** Captura

**Lokasjoner:** Port of Los Angeles (California) og Kona (Hawaii)

**Status:** Operativ pilot

Captura har utviklet et av de mest avanserte systemene for DOC som er i drift i dag. Selskapet etablerte først et pilotanlegg ved Port of Los Angeles med en kapasitet på omtrent 100 tonn CO<sub>2</sub> per år, før

<sup>106</sup>IPCC (2005). Special report on carbon dioxide capture and storage – Chapter 7. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter7-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf) (hentet april 2026).

<sup>107</sup> Ocean Visions (u.å.). Ocean Visions website. Tilgjengelig på: <https://oceanvisions.org/> (hentet april 2026).

<sup>108</sup> Captura (2024). Innovations and cost reductions in DOC. Tilgjengelig på: <https://capturacorp.com/wp-content/uploads/2024/08/DOC-innovations-and-cost-reductions.pdf> (hentet april 2026).

<sup>109</sup> Captura. (2023). Equinor and Captura partner to develop ocean carbon removal <https://capturacorp.com/equinor-and-captura-partner-to-develop-ocean-carbon-removal/>

teknologien ble oppskalert til et større anlegg på Hawaii. Anlegget på Hawaii startet driften i 2025 og har en designkapasitet på om lag 1000 tonn CO<sub>2</sub> per år. Systemet fjerner oppløst CO<sub>2</sub> fra sjøvann ved hjelp av elektrodialyse og gassekstraksjon. Etter at CO<sub>2</sub> er fjernet, returneres sjøvannet til havet, som deretter kan absorbere ytterligere CO<sub>2</sub> fra atmosfæren. Pilotanlegget er utviklet i samarbeid med Equinor og representerer et av de største operative DOC-anleggene globalt.

#### Equatic<sup>110</sup>

**Utvikler:** Equatic

**Lokasjoner:** Los Angeles og Singapore

**Status:** Pilot- og demonstrasjonsanlegg

Equatic kombinerer elektrolyse av sjøvann med karbonfjerning og produksjon av hydrogen. Selskapet drev først et pilotanlegg i Los Angeles før det utviklet et større demonstrasjonsanlegg i Singapore. Pilotanlegget i Singapore hadde opprinnelig en kapasitet på omtrent 0,1 tonn CO<sub>2</sub> per dag og fungerer som grunnlag for fremtidige anlegg som er designet for å fjerne flere tonn CO<sub>2</sub> per dag.

I motsetning til Captura produserer Equatic samtidig hydrogen og mineralbaserte biprodukter i tillegg til karbonfjerning. Denne integrerte tilnærmingen kan bidra til å forbedre den økonomiske bærekraften ved teknologien ved å skape flere verdistrømmer fra samme prosess.

## Fordeler, gevinster og barrierer

### Fordeler og gevinster:

#### *Høyere CO<sub>2</sub>-konsentrasjon enn i luft*

Sjøvann inneholder betydelig høyere konsentrasjoner av oppløst uorganisk karbon enn atmosfærisk luft på volumbasis.<sup>111</sup> I prinsippet betyr dette at DOCCS-systemer behandler et mer karbonrikt medium enn luftbaserte DACCS-systemer, noe som potensielt kan redusere enkelte masseoverførings-begrensninger knyttet til direkte luftfangst. Flere foreslåtte elektrokjemiske DOCCS-konsepter peker derfor på muligheten for lavere teoretisk energibehov enn DACCS dersom de elektrokjemiske separasjonsprosessene kan opereres effektivt i stor skala. Disse potensielle effektivitetsfordelene er imidlertid i stor grad uprøvd utenfor laboratorie- og modelleringsstudier.

#### *CO<sub>2</sub>-redusert vann kan akselerere naturlig reabsorpsjon av CO<sub>2</sub>*

Når CO<sub>2</sub>-redusert sjøvann returneres til havet, kan det gradvis absorbere ytterligere atmosfærisk CO<sub>2</sub> etter hvert som karbonatsystemet re-etablerer likevekt med atmosfæren.<sup>112</sup> I teorien betyr dette at fjerning av oppløst CO<sub>2</sub> fra sjøvann indirekte kan drive ytterligere opptak av atmosfærisk CO<sub>2</sub> over tid. Størrelsen, tidsforløpet og permanensen til denne indirekte atmosfæriske CO<sub>2</sub>-fjerningen er imidlertid fortsatt usikker og avhenger av havsirkulasjon, blandingsprosesser og karbonatkjemiske dynamikker.

### Barriers:

#### *Svært lav teknologisk modenhet*

DOCCS befinner seg fortsatt på et svært tidlig stadium av teknologisk utvikling. Selv om de underliggende elektrokjemiske prinsippene er relativt godt forstått, har ingen storskala DOCCS-systemer foreløpig blitt demonstrert under realistiske marine driftsforhold.

<sup>110</sup> Equatic (u.å.), current projects, <https://www.equatic.tech/the-equatic-difference#current-projects>

<sup>111</sup> IPCC (2005). Special report on carbon dioxide capture and storage – Chapter 6. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter6-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter6-1.pdf) (hentet april 2026).

<sup>112</sup> Carbon Direct (u.å.). *Marine carbon dioxide removal: What it is and how it works*. Tilgjengelig på: <https://www.carbon-direct.com/insights/marine-carbon-dioxide-removal-what-it-is-and-how-it-works> (hentet april 2026).

*Behov for svært store sjøvannsvolumer*

Selv om sjøvann inneholder høyere konsentrasjoner av oppløst uorganisk karbon enn luft, er konsentrasjonene fortsatt relativt lave i absolutte verdier. Som følge av dette må svært store vannvolumer behandles for å oppnå betydelige CO<sub>2</sub>-fjerningsrater. Storskala utrulling vil derfor kreve omfattende pumpesystemer, marin inntaks- og utslippsinfrastruktur og betydelige operative fotavtrykk i kyst- eller offshoremiljøer. Håndtering av utslippsplumer og unngåelse av utilsiktede lokale endringer i marin kjemi vil sannsynligvis også bli viktige miljøhensyn.

*Betydelig MRV-usikkerhet*

MRV for DOCCS er fortsatt lite utviklet. Det er komplekst å kvantifisere hvor mye atmosfærisk CO<sub>2</sub> som faktisk fjernes som resultat av ekstraksjon av oppløst CO<sub>2</sub> fra sjøvann, fordi utvekslingen mellom hav og atmosfære skjer gradvis og avhenger av lokal havsirkulasjon, temperatur, biologisk aktivitet og blandingsprosesser. Det finnes foreløpig ingen bredt akseptert internasjonal MRV-ramme for DOCCS.

*Begrenset egnethet for Indre Oslofjord*

Indre Oslofjord er sannsynligvis dårlig egnet for storskala utrulling av DOCCS på grunn av relativt lukkede hydrodynamiske forhold, økologisk sårbarhet og aktiv miljøforvaltning. DOCCS-konsepter forutsetter generelt tilgang til store volum kontinuerlig sirkulerende sjøvann i åpne kyst- eller offshoremiljøer. Sammenlignet med åpne havområder har Oslofjorden mer begrenset vannutskiftning og er allerede gjenstand for økologiske restaureringstiltak knyttet til eutrofiering, biologisk mangfold og vannkvalitet.

**Relevans for Oslo**

DOCCS vurderes som ikke-relevante CDR-teknologier for Oslo. Detaljene bak vurderingen er gitt i Tabell 20 nedenfor.

---

Tabell 20 Resultater av relevansvurdering – DOCCS

---

Vurdering av relevans for Oslo – **X**

EKSKLUDERT fra estimeringen av CDR-potensialet

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hvorfor ekskludert | TRL 2, dvs. før-kommersielt.<br>Krever store mengder sjøvann, industrielle kystarealer og åpne havforhold. Indre Oslofjord er for lukket, økologisk sårbar og arealmessig begrenset for implementering av DOCCS. En lokalisering nær åpent hav (f.eks. langs norskekysten) vil være langt mer egnet. |
| Verdt å nevne      | DOCCS kan bli relevant i et perspektiv etter 2040, særlig dersom de lokaliseres i åpne kyst- eller offshoreområder fremfor i Oslo. Oslo kommune bør følge internasjonal forskningsutvikling innen disse teknologiene.                                                                                |

---

**2.10 Oslo relevans - oppsummering**

Tabell 21 oppsummerer resultatene av screeningen på tvers av alle de vurderte teknologiene. Fem CDR-løsninger går videre til detaljert vurdering i Kapittel 0: BECCS, biokull, DACCS (ikke inkludert i det realistiske scenariet, men inkludert i beregningen av maksimalt teknisk potensial), mineral karbonatisering og tre i bygg. Fire teknologier er ekskludert.

Tabell 21 CDR relevans - oppsummering

| Teknologi               | TRL | Permanens   | Oslo relevans    | Begrunnelse                                                                                                                                                    |
|-------------------------|-----|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BECCS                   | 5-9 | >1000 år    | ✓                | Forankringsprosjektet på Klemetsrud er allerede under utvikling; største enkeltstående CDR-mulighet i Oslo                                                     |
| Biokull                 | 6-7 | 100-1000 år | ✓                | Lokal avfallsbasert biomasse er tilgjengelig; modulær teknologi; piloterfaring i Oslo                                                                          |
| DACCS                   | 7-9 | >1000 år    | ✗ <sup>113</sup> | Nett-begrensninger og svært høye kostnader gjør storskala implementering lite sannsynlig innen 2040; et lite pilotprosjekt nær Sjørsøya kan være teknisk mulig |
| Mineral karbonatisering | 7-9 | >1000 år    | ✓                | Lokale alkaliske restmaterialer og små biogene CO <sub>2</sub> -strømmer kan gi et realistisk grunnlag; høy varighet; sterkt lokalt forskningsmiljø (VICCO)    |
| Tre i bygg              | 9   | <100 år     | ✓                | Stort potensial for midlertidig lagring; utnytter eksisterende norsk verdikjede; må regnes separat fra permanent CDR                                           |
| Forsterket forvitring   | 3-4 | >1000 år    | ✗                | Lavt modenhetsnivå (TRL 3-4); utilstrekkelig jordbruksareal; ingen lokale mineraler; støv- og luftkvalitetsrisiko i tett urbant miljø                          |
| Blått karbon            | 2-6 | <100 år     | ✗                | Ubetydelig CDR-potensial i Oslo gitt begrenset kystareal; aktiv ålegrasrestaurering pågår med fokus på biologisk mangfold; underutviklet MRV                   |
| OAE                     | 1-2 | >1000 år    | ✗                | TRL 1-2; lukket fjord mangler nødvendig vannsirkulasjon; betydelige økosystemrisikoer; ingen lokale mineraler                                                  |
| DOCCS                   | 2   | >1000 år    | ✗                | TRL 2; krever åpne kystområder med industrielle forhold som ikke finnes i Oslo; lukket og sårbar fjord er uforenlig                                            |

<sup>113</sup> Ekskludert fra det realistiske scenariet

### 3 Potensialberegning

#### 3.1 Metodikk

Vurderingen av potensialet for CDR i Oslo er basert på en bottom-up, ressursbasert metodikk utviklet av Carbon Limits for Oslo kommune.

Målet er å estimere både:

- et maksimalt teknisk CDR-potensial, som reflekterer fysiske ressursbegrensninger i Oslo, og
- et mer realistisk CDR-potensial, som tar hensyn til konkurrerende bruk av ressurser og praktiske begrensninger for implementering

Kun ressurser som fysisk er tilgjengelige innenfor Oslos kommunegrenser er tatt i betraktning.

Modellen omfatter følgende CDR-metoder, valgt basert på deres relevans for implementering i Oslo:

- DACCS - fast og flytende
- BECCS på forbrennings- og anaerobe nedbrytningskilder
- Mineral karbonatisering
- Biokull
- Tre brukt i bygg

Metodikken følger en trinnvis tilnærming, anvendt konsistent på tvers av alle CDR-løsninger:

##### *Trinn 1 – Kartlegging av ressursbehov for de utvalgte CDR-teknologiene*

For hver CDR-løsning gir modellen flere tekniske parametere som bestemmer hvor mye ressurser som kreves for å fjerne 1 tonn CO<sub>2</sub> ved implementering av den aktuelle CDR-løsningen:

- Elektrisitetsbehov uttrykt i MWh/tCO<sub>2</sub>
- Termisk energibehov uttrykt i MWh/tCO<sub>2</sub>
- Arealbehov uttrykt i m<sup>2</sup>/tCO<sub>2</sub>
- Råstoffbehov (f.eks. biomasse, tre, alkaliske restmaterialer) uttrykt i t/tCO<sub>2</sub>
- Fjerningseffektivitet (der relevant) uttrykt i %, som representerer andelen av fanget biogen CO<sub>2</sub> som lagres permanent etter fratrekk av prosessrelaterte utslipp

Tekniske forutsetninger er hentet fra fagfellevurdert litteratur. Forutsetningene er uttrykt per tonn CO<sub>2</sub> fjernet per år og er ikke tidsavhengige, det vil si at de anvendes konsistent uavhengig av referanseår (f.eks. i dag eller 2040).

##### *Trinn 2 – Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren*

Etter kartlegging av de tekniske kravene for CDR ble den viktigste begrensende faktoren for hver CDR-løsning identifisert basert på Oslo-konteksten, de fysiske egenskapene til hver teknologi og strukturen på lokalt tilgjengelige ressurser.

For hver CDR-løsning tilsvarer den begrensende faktoren den ene lokale ressursen som sterkest begrenser muligheten for utrulling i stor skala i Oslo. Typiske begrensende faktorer inkluderer arealtilgang, tilgang på biogen CO<sub>2</sub> og tilgang på råstoff, avhengig av teknologi.

##### *Trinn 3 – Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet*

Dette steget har som formål å identifisere og kvantifisere alle Oslo-ressurser som brukes direkte som input i estimeringen av CDR-potensialet. Potensialestimeringen er kun basert på ressursvolumer som enten er reelt overskudd i forhold til eksisterende bruk eller vurderes som realistisk "omdirigerbare" til CDR-anvendelser. Ressurser som allerede er fullt ut bundet til eksisterende infrastruktur eller tjenester inkluderes som hovedregel ikke, med mindre det finnes en troverdig mulighet for delvis eller full omallokering uten å skape uforholdsmessig store systempåvirkninger.

Denne tilnærmingen reflekterer realiteten i Oslos urbane ressurssystem, hvor de fleste organiske avfallsstrømmer, mineralrester, energikilder og biomasseressurser allerede er integrert i eksisterende avfalls-, energi-, industri- eller miljøverdikjeder med begrenset ubrukt kapasitet. Å anta ubegrenset tilgang til allerede disponerte ressurser ville kunne overvurdere det realistiske CDR-potensialet og samtidig undervurdere avveiningene og systemvalgene knyttet til storskala utrulling av CDR i Oslo.

For hver ressurs ble det samlet inn informasjon om:

1. dagens tilgjengelighet
2. hva som allerede er bundet til andre formål, ikke kan omdirigeres og derfor ekskluderes
3. volumet som vurderes tilgjengelig for CDR
4. metoden brukt for å fremskrive tilgjengeligheten mot 2040.

Fem ressurskategorier dekkes, tilsvarende de fem vurderte CDR-løsningene: biogene punktkilder for CO<sub>2</sub> (BECCS og mineralkarbonatisering), organiske avfallsstrømmer (biokull), alkaliske industrielle restmaterialer (mineralkarbonatisering), trebruk i nybygg (tre i bygg) og areal (DACCS-pilot).

Ressursdataene er basert på kommunale datasett og støttestudier innhentet for Oslo kommune.

### *Trinn 4 – Estimering av maksimalt teknisk potensial*

Når den viktigste begrensende faktoren er identifisert for hver løsning, kvantifiserer analysen den totale tilgjengeligheten av denne begrensende ressursen i Oslo og kombinerer den med det teknologispesifikke ressursbehovet per tonn CO<sub>2</sub> fjernet. Dette gjør det mulig å beregne et maksimalt teknisk CO<sub>2</sub>-fjerningspotensial for hver CDR-løsning.

På dette stadiet forutsetter beregningen eksplisitt at 100% av den begrensende ressursen allokeres til den aktuelle CDR-løsningen, uten konkurranse eller interaksjon mellom ulike CDR-teknologier. Det estimerte potensialet representerer derfor en teknisk øvre grense snarere enn et realistisk utbyggingsnivå, og potensialene kan ikke summeres til et samlet totalpotensial.

### *Trinn 5 - Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

For å gå utover tekniske øvre grenser definerer analysen scenarioer som representerer mer realistiske nivåer for utrulling innen 2040.

Disse scenarioene har som mål å:

- allokere lokale ressurser mellom ulike CDR-løsninger (for eksempel eksisterende biogene CO<sub>2</sub>-strømmer)
- reflektere praktiske og kvalitative begrensninger som kan redusere muligheten for utrulling av CDR (som infrastrukturelle begrensninger)

Scenarioene anvendes separat for hver teknologi, basert på den enkelte CDR-løsningens egenskaper og samspill med lokale begrensninger

## 3.2 Forutsetninger for estimering av CDR-potensialet

### BECCS

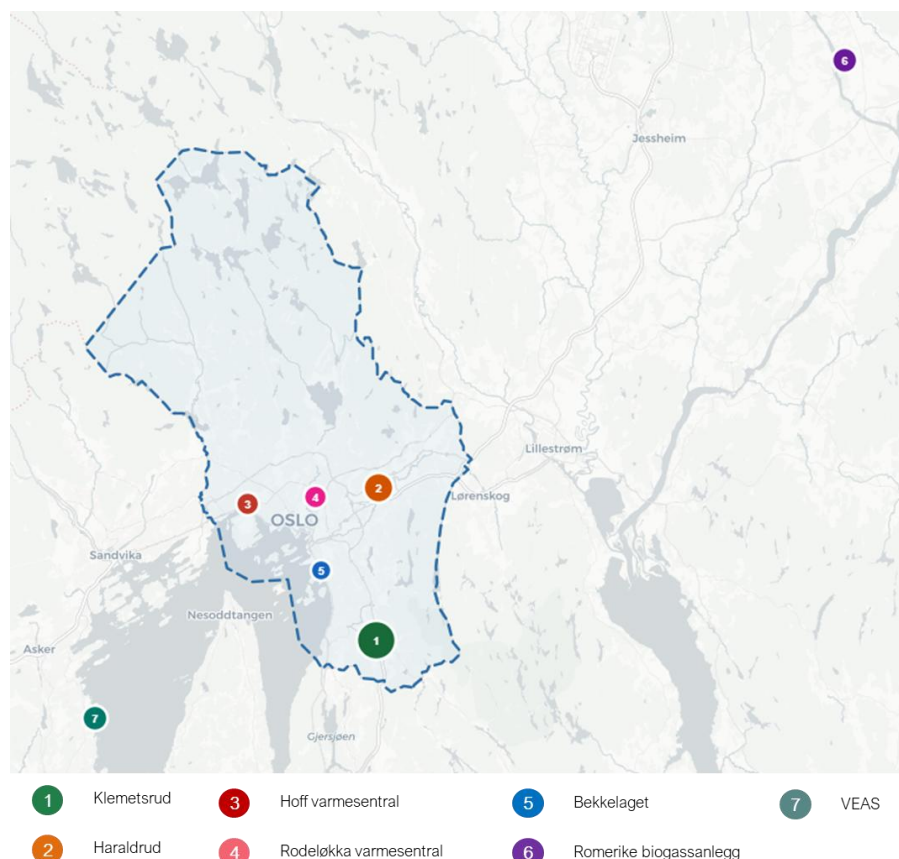
#### *Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren*

Den begrensende faktoren for utrulling av BECCS er tilgjengeligheten av biogene punktkilder for CO<sub>2</sub> med tilstrekkelig skala og egnede tekniske egenskaper for karbonfangst. I Oslo utgjør det totale volumet av biogen CO<sub>2</sub> fra avfallsforbrenningsanlegg, fjernvarmekjeler, biogassanlegg og andre biogene kilder den maksimale øvre grensen for karbonfjerning gjennom BECCS. Ikke alle biogene CO<sub>2</sub>-kilder er like godt egnet: skala, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i røygassen, driftskontinuitet og tilgjengelighet på anleggsområdet avgjør om en gitt kilde er teknisk og økonomisk egnet for CCS.

*Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet*

Oslo har seks registrerte industrielle utslippskilder for biogen CO<sub>2</sub> innenfor kommunegrensen, med samlede utslipp på omtrent 352 ktCO<sub>2</sub>/år.<sup>114</sup> To ytterligere anlegg utenfor kommunegrensen, Romerike biogassanlegg i Nes og VEAS i Asker, vurderes også på grunn av Oslo kommunes eierandel eller direkte kobling til avfallsstrømmene som behandles der (se Figur 10). For hver kilde gjøres det en vurdering av om den bør inkluderes i det teoretiske makspotensialet og/eller i det realistiske potensialet, basert på kriterier knyttet til skala, teknisk og økonomisk gjennomførbarhet, tilgang til infrastruktur og fysiske begrensninger på anleggsområdet. Begrunnelsen for hver enkelt kilde beskrives nedenfor.

Figur 10 Bio-CO<sub>2</sub> kilder i Oslo kommune og knyttet til Oslos aktiviteter



#### Hafslund Celsio AS - Klemetsrud

INKLUDERT i både maksimalt teknisk og realistisk potensial.

Klemetsrud er den klart største biogene punktkilden for CO<sub>2</sub> i Oslo, med utslipp på ca. 190 kt biogen CO<sub>2</sub> per år. Anlegget behandlet omtrent 320 000 tonn restavfall i 2025, hvor omtrent 50% av de totale CO<sub>2</sub>-utslippene er biogene.<sup>115</sup> Anlegget har tillatelse til å behandle opptil omtrent 349 000 tonn husholdnings- og næringsavfall per år<sup>116</sup>, noe som tilsvarer en maksimal biogen CO<sub>2</sub>-strøm på omtrent 192 kt/år ved full

<sup>114</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Norske utslipp. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/no/Forsiden/?SectorID=90> (hentet april 2026)

<sup>115</sup> Hafslund (u.å.). Nøkkeltall for avfallsforbrenning og fjernvarmeproduksjon. Tilgjengelig på: <https://www.hafslund.no/no/produkter-og-tjenester/fjernvarme/nokkeltall-for-avfallsforbrenning-og-fjernvarmeproduksjon> (hentet april 2026).

<sup>116</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Utslppsrapport for virksomhet (PDF-dokument). Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=818055&documentType=T&companyID=6081&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

kapasitet. CCS er under aktiv utvikling og planlegges satt i drift i 2029.<sup>117</sup> Hele verdikjeden, inkludert fangst, komprimering, kondensering, lastebiltransport til Sjursøya, eksport med skip og geologisk lagring gjennom Northern Lights, er kommersielt kontrahert og delfinansiert gjennom Langskip-prosjektet. Den biogene CO<sub>2</sub>-en fra dette anlegget er derfor allerede bundet til Klemetsrud BECCS-prosjektet og er ikke tilgjengelig for omallokering til andre CDR-løsninger.

Det er verdt å merke seg at ikke alt avfallet som forbrennes på Klemetsrud stammer fra Oslos egne husholdninger. Enkelte volumer kommer fra omkringliggende kommuner og har i enkelte år også blitt importert fra utlandet.

### Haraldrud energigjenvinningsanlegg og Haraldrud varmesentral

INKLUDERT i maksimalt teknisk potensial og betinget inkludert i realistisk potensial.

Haraldrud industriområde i østlige Oslo har to separate, selvstendig konsesjonspliktige anlegg med omtrent 100-150 meters avstand i Groruddalen industrikorridor, begge med utslipp av biogen CO<sub>2</sub>, men med ulike eierskapsstrukturer og brenslagsgrunnlag. Begge har direkte veiforbindelse til E6 og Sjursøya, noe som gir en betydelig praktisk fordel for lastebiltransport av CO<sub>2</sub>.

#### Haraldrud energigjenvinningsanlegg

Dette anlegget eies og drives av Oslo kommunes Renovasjons- og gjenvinningsetat (REN). Anlegget kan behandle opptil 120 000 tonn husholdnings- og næringsavfall<sup>118</sup>, hvor den biogene andelen av avfallsstrømmen er omtrent 55%.<sup>119</sup> Dette tilsvarer en maksimal biogen CO<sub>2</sub>-produksjon ved full kapasitet på omtrent 72 kt CO<sub>2</sub>/år. Faktisk rapportert volum biogen CO<sub>2</sub> kan estimeres basert på data rapportert til Klimaetaten for 2023. Bio-CO<sub>2</sub>-utslipp fra anlegget utgjorde omtrent 49 ktCO<sub>2</sub>.

Fordi anlegget er 100% eid av Oslo kommune, har kommunen direkte beslutningsmyndighet over CCS-investeringer uten behov for forhandlinger med private operatører. Teknisk sett kan CCS følge samme verdikjede som Klemetsrud, ved bruk av terminalinfrastrukturen på Sjursøya som bygges for Klemetsrud-prosjektet. Inkludering i realistisk potensial er betinget av at en pre-FEED- eller mulighetsstudie initieres rundt 2030-2031.

#### Haraldrud varmesentral

Dette anlegget drives av Hafslund Celsio og produserer fjernvarme, med totalt: 32 MW spillvarme gjenvunnet fra Haraldrud gjenvinningsanlegg, 30 MW fra næringsavfall, 56 MW fra trepellets og 108 MW fra LNG- og bioolje-spisslastkjeler.<sup>120</sup> Total installert kapasitet er 270 MW.<sup>121</sup>

Trepellets kjelene (123 MW installert) produserer 100% biogen CO<sub>2</sub>, mens næringsavfallsenheten (≈ 39 MW) produserer omtrent 50% biogen CO<sub>2</sub>.<sup>122</sup> Fordelingen mellom LNG og bioolje er ikke kjent, så for analysens formål antas det at det brukes 100% bioolje i hybridkjelene, dvs. at disse slipper ut 100% bio-

<sup>117</sup> Hafslund (u.å.). Karbonfangst – det neste steget. Tilgjengelig på: <https://www.hafslund.no/no/produkter-og-tjenester/oslo-ccs/karbonfangst-det-neste-steget> (hentet april 2026).

<sup>118</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Utslippsrapport for virksomhet (PDF-dokument). Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=813329&documentType=T&companyID=5435&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<sup>119</sup> Oslo kommune (u.å.). Utslippsfri og ressurseffektiv avfallshåndtering i Oslo. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/rapport/utslippsfri-og-ressurseffektiv-avfallshandtering-i-oslo/> (hentet april 2026).

<sup>120</sup> Hafslund (u.å.). Hvor finner du våre energisentraler. Tilgjengelig på: <https://www.hafslund.no/no/produkter-og-tjenester/fjernvarme/hvor-finner-du-vare-energisentraler> (hentet april 2026).

<sup>121</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Utslippsrapport for virksomhet (PDF-dokument). Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=876023&documentType=T&companyID=5422&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<sup>122</sup> Carbon Limits antakelse

CO<sub>2</sub>. Dette gir en gjennomsnittlig total biogen andel på omtrent 95%. Ved å anta drift over 56 dager<sup>123</sup> ved nominell kapasitet, estimeres det tekniske maksimale biogene CO<sub>2</sub>-utslippet til omtrent 94 ktCO<sub>2</sub>/år.

Faktiske utslipp forventes å være lavere enn det teoretiske maksimumspotensialet, ettersom Haraldrud varmesentral ikke opererer kontinuerlig gjennom året. Anlegget fungerer hovedsakelig som et fleksibelt produksjonsanlegg som dekker økt varmebehov i perioder med høy etterspørsel, samtidig som det bidrar til forsyningssikkerhet og reservekapasitet i Hafslund Oslo Celsios fjernvarmenett. Varmeproduksjonen varierer derfor mellom år avhengig av utetemperatur, varmeetterspørsel, energipriser og tilgjengeligheten av andre varmekilder i systemet.

Samlokaliseringen av de to Haraldrud-anleggene gir et godt grunnlag for delt CCS-infrastruktur, som kan inkludere én felles fangstenhet, CO<sub>2</sub>-flytendegjøringsanlegg og lasteområde for tankbil som betjener begge anleggene, og dermed reduserer kapital- og driftskostnader per tonn sammenlignet med to separate installasjoner. Denne samlokaliseringsfordelen bør eksplisitt undersøkes i en fremtidig gjennomførbarhetsstudie. Inkluderingen av anleggene på Haraldrud i det realistiske potensialet er betinget av at en slik gjennomførbarhets- eller pre-FEED-studie igangsettes rundt 2030-2031, slik at det er tilstrekkelig tid til tillatelser og bygging før 2040.

### Hoff varmesentral

INKLUDERT i maksimalt teknisk potensial; EKSKLUDERT fra realistisk potensial

Hoff varmesentral er en biooljedrevet spisslastkjel for fjernvarme i boligområdet Skøyen i vestre Oslo, med en maksimal tillatt varmeproduksjon på 180 GWh (bioolje og elektrisitet).<sup>124</sup> Anlegget er i drift et begrenset antall dager per år (i 2021 ble dette registrert til 56 dager). Årlige biogene CO<sub>2</sub>-utslipp er omtrent 9,1 kt.<sup>125</sup>

Hoff er ekskludert fra det realistiske BECCS-potensialet av følgende grunner. For det første opererer Hoff primært som et spisslastanlegg med begrenset årlig driftstid, noe som gjør det vanskelig å forsvare de høye kapitalkostnadene knyttet til fangstinfrastruktur ved lave utnyttelsesgrader (se Boks 11 nedenfor). For det andre ligger anlegget i et tett boligområde, noe som innebærer at enhver transportløsning med tankbil til for eksempel Sjursøya må krysse hele bredden av sentrale Oslo uten en dedikert industriell transportkorridor. Kilden er inkludert i det maksimale potensialet for å representere hele Oslos biogene CO<sub>2</sub>-potensialet.

---

### Boks 11 CCS på spisslast- og reservevarmeanlegg

---

Spisslast- og reservevarmeanlegg regnes generelt som lite egnede kandidater for CCS-implementering. I motsetning til grunnlastanlegg i industrien eller kontinuerlig opererende avfallsforbrenningsanlegg, er spisslastanlegg vanligvis kun i drift i perioder med høy varmeetterspørsel, kuldeperioder eller midlertidige bortfall i det øvrige energisystemet. Som følge av dette er de årlige driftstimene og de totale årlige CO<sub>2</sub>-volumene relativt lave og svært variable.

Denne driftsprofilen kan være utfordrende for implementering av CCS. Karbonfangstsystemer er svært kapitalintensive og er generelt mest kostnadseffektive når de opererer kontinuerlig med høy utnyttelsesgrad over store årlige CO<sub>2</sub>-volumer. Selv for anlegg med få driftstimer må hele fangstkjeden likevel installeres, inkludert fangstutstyr, systemer for regenerering av løsemidler, CO<sub>2</sub>-kompresjon, midlertidig lagringsinfrastruktur, osv. Som følge av dette fordeles de faste kapitalkostnadene over relativt små mengder fanget CO<sub>2</sub>, noe som gir betydelig høyere kostnader per tonn fanget CO<sub>2</sub>.

<sup>123</sup> Tilsvarende høyeste dokumenterte årlige driftsperioden rapportert for sammenlignbare spisslastanlegg i Oslos fjernvarmesystem. Verdien er basert på driftsperioden rapportert for Hoff varmesentral i 2021 (Miljødirektoratet (2023, 21. februar). Tilsynsrapport – Hoff varmesentral (2021 driftsår)).

<sup>124</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Utslppsrapport for virksomhet (PDF-dokument). Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=645340&documentType=T&companyID=5453&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<sup>125</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Carbon dioxide – biomass. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Emission/Carbon-dioxide-biomass/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=179> (hentet april 2026).

Intermitterende drift skaper også ytterligere tekniske og operasjonelle utfordringer. Hyppige oppstarts- og nedstengningssykluser kan redusere fangsteffektiviteten, øke energibehovet og føre til høyere degradering av løsemidler og større vedlikeholdsbehov. Fangstanlegg er vanligvis designet for relativt stabile røykgass-strømmer og driftsforhold, mens spisslastanlegg ofte opplever raske lastendringer og svært variable driftsmønstre.

I tillegg er CO<sub>2</sub>-transport- og lagringsinfrastruktur generelt optimalisert for stabile og forutsigbare leveransevolumer av CO<sub>2</sub>. Anlegg som kun opererer periodevis kan derfor møte ytterligere logistiske utfordringer knyttet til midlertidig CO<sub>2</sub>-lagring, transportplanlegging og integrasjon i delte transport- og lagringsnettverk.

Disse utfordringene kan være særlig betydelige for urbane spisslastanlegg for varmeproduksjon, der begrenset tilgjengelig areal, krevende logistikk og integrasjon i tett bebygde områder ytterligere kompliserer implementering av CCS. Som følge av dette anses CCS på spisslastanlegg generelt som betydelig mindre attraktivt enn på kontinuerlig opererende store punktkilder med stabile årlige CO<sub>2</sub>-strømmer.

### Rodeløkka varmesentral

INKLUDERT i maksimalt teknisk potensial; EKSKLUDERT fra realistisk potensial.

Rodeløkka varmesentral ligger i den tidligere Freia-fabrikken på Grünerløkka i indre Oslo. Anlegget er en biooljedrevet spisslastkjel med maksimal tillatt varmeproduksjon på omtrent 300 GWh<sup>126</sup> og begrenset årlig utnyttelse, og er sannsynligvis kun i drift i perioder med høy varmeetterspørsel eller reservebehov. Årlige biogene CO<sub>2</sub>-utslipp er omtrent 8,9 kt.<sup>127</sup>

Utover de samme skalautfordringene som ved Hoff, gjør de fysiske egenskapene ved Rodeløkka-lokasjonen implementering av CCS svært upraktisk. Anlegget har et svært begrenset fotavtrykk i et tett og kulturhistorisk sensitivt byområde. Under utviklingen av anlegget var deler av området underlagt kulturminnerelaterte planbegrensninger knyttet til det omkringliggende bymiljøet.<sup>128</sup> Tilgjengelig areal på tomten fremstår som utilstrekkelig for installasjon av CCS-infrastruktur, inkludert fangstutstyr, CO<sub>2</sub>-kondisjonering og midlertidige lagringssystemer, samt tilhørende laste- og transportinfrastruktur. Rodeløkka er derfor ekskludert fra det realistiske potensialsscenarioet.

### Boks 12 Hvorfor karbonfangst er mulig i Rakkestad, men ikke ved Hoff og Rodeløkka

Det faktum at Carbon Centric har installert et karbonfangstanlegg ved avfallsforbrenningsanlegget i Rakkestad<sup>129</sup>, som med omtrent 10 ktCO<sub>2</sub>/år er av tilsvarende størrelse som Hoff og Rodeløkka, kan brukes som argument for at fangst også burde være mulig ved Oslos små fjernvarmekjeler. Denne boksen forklarer hvorfor erfaringene fra Rakkestad ikke nødvendigvis er direkte overførbare til Hoff og Rodeløkka. Det er flere viktige forskjeller mellom anleggene.

#### 1. Kontinuerlig versus sesongbasert drift

Rakkestad-anlegget startet drift i september 2025 som et karbonfangst- og karbonutnyttelsesprosjekt (CCU) med en fangstkapasitet på omtrent 10 ktCO<sub>2</sub> per år. Avfallsforbrenningsanlegget i Rakkestad opererer året rundt som et grunnlastanlegg som leverer industridamp og fjernvarme til nærliggende

<sup>126</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Utslippsrapport for virksomhet (PDF-dokument). Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=645342&documentType=T&companyID=21735&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<sup>127</sup> Miljødirektoratet (u.å.). Carbon dioxide – biomass. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Emission/Carbon-dioxide-biomass/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=179> (hentet april 2026).

<sup>128</sup> Norsk Energi (2013). Norsk Energi, tidsskrift 2-2013. Tilgjengelig på: [https://energi.no/images/tidsskrift/Norsk\\_Energi\\_2-2013\\_L3.pdf](https://energi.no/images/tidsskrift/Norsk_Energi_2-2013_L3.pdf) (hentet april 2026).

<sup>129</sup> Carbon Centric (u.å.). Rakkestad CCUS (prosjekt støttet av Enova). Tilgjengelig på: <https://www.carboncentric.no/rakkestad-ccus> (hentet april 2026).

selskaper. Hoff og Rodeløkka er rene spisslastkjeler. Denne forskjellen er grunnleggende: et fangstanlegg har høye faste kapitalkostnader som må fordeles over mengden CO<sub>2</sub> som fanges.

## 2. CCU versus CCS

Rakkestad-prosjektet er et CCU-prosjekt som skal levere flytende CO<sub>2</sub> til Linde Gas AS. Dette er det avgjørende skillet. Rakkestad lagrer ikke CO<sub>2</sub> permanent, men selger den som et kommersielt produkt til en industrigasskunde, og dekker dermed deler av driftskostnadene. Det finnes ingen tilsvarende industrigasskunde i nærheten av Hoff eller Rodeløkka. For Oslos CDR-formål kreves permanent geologisk lagring, ikke industriell utnyttelse.

## 3. Investeringen på 100 millioner NOK krevde en kombinasjon av muliggjørende faktorer

Carbon Centric investerte rundt 100 millioner NOK i etableringen av karbonfangstanlegget. Denne investeringen var mulig på grunn av tre forhold som samtidig var til stede i Rakkestad, men som ikke gjelder for Hoff eller Rodeløkka:

- a) en kommersiell salgsavtale med Linde Gas som gir garanterte inntekter
- b) 17,3 millioner NOK i støtte fra Enova, begrunnet som et FOK (first-of-kind) demonstrasjonsprosjekt (tilsvarende senere installasjoner vil ikke kvalifisere under samme demonstrasjonsbegrunnelse)
- c) kontinuerlig grunnlastdrift ved avfallsforbrenningsanlegget som gir CO<sub>2</sub>-produksjon gjennom hele året.

Rakkestad-prosjektet har dermed rammebetingelser som ikke eksisterer for Hoff og Rodeløkka, herunder kontinuerlig drift, en kommersiell kjøper av CO<sub>2</sub> og offentlig demonstrasjonsfinansiering. For Hoff og Rodeløkka er den relevante sammenligningen derfor økonomien i etterforbrenningsfangst ved små anlegg (<20 kt CO<sub>2</sub>/år) uten et kommersielt marked for CO<sub>2</sub>-utnyttelse. IEAGHG-analysen<sup>130</sup> viser at slike anlegg får svært høye enhetskostnader sammenlignet med dagens og forventede karbonpriser og støtteordninger.

## Bekkelaget renseanlegg - biogas oppgradering

INKLUDERT i maksimalt teknisk potensial; allokert til mineralkarbonering i realistisk scenario.

Bekkelaget er Oslos største avløpsrenseanlegg, lokalisert i sørøstlige Oslo og 100% eid av Oslo kommunes Vann- og avløpsetat (VAV). Anlegget behandler avløpsvann fra omtrent 300000 personer<sup>131</sup> og produserer biogass. Under oppgradering av biogass separeres CO<sub>2</sub> fra metan som et prosessbiprodukt, noe som gir en konsentrert CO<sub>2</sub>-strøm (95-99% CO<sub>2</sub>) på omtrent 2,3 kt CO<sub>2</sub>/år.<sup>132</sup> Dette innebærer at det ikke er behov for et ytterligere separasjonstrinn, absorpsjonskolonne eller regenerering av løsemidler. Fangstinfrastrukturen som kreves er begrenset til kompresjon og flytendegjøring av en allerede ren CO<sub>2</sub>-strøm. Anlegget rapporterer også utslipp fra forbrenning på rundt 0,9 ktCO<sub>2</sub>/år.

Ved omtrent 3 kt CO<sub>2</sub>/år er strømmen fortsatt for liten til å forsvare dedikert BECCS-infrastruktur, og den er derfor ikke inkludert i det realistiske BECCS-potensialet. I stedet vurderes Bekkelaget som en ren biogen CO<sub>2</sub>-kilde for mineral karbonatisering i det realistiske scenarioet.

## VEAS - Vestfjorden Avløpsselskap

VEAS er Norges største avløpsrenseanlegg, lokalisert i Slemmestad i Asker kommune. Anlegget eies av Oslo (70,5%), Bærum (21,5%) og Asker (8%)<sup>133</sup>, og behandler avløpsvann fra omtrent 800000 personer i

<sup>130</sup> IEAGHG (u.å.). Techno-economic assessment of small-scale carbon capture for industrial and power systems. Tilgjengelig på: <https://ieaghg.org/publications/techno-economic-assessment-of-small-scale-carbon-capture-for-industrial-and-power-systems/> (hentet april 2026).

<sup>131</sup> Statsforvalteren i Oslo og Viken (2023). Egenkontrollrapporter 2023 – Oslo kommune. Tilgjengelig på: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-oslo-og-viken/miljo-og-klima/forurensning/egenkontrollrapporter-2023/oslo-kommune.pdf> (hentet april 2026).

<sup>132</sup> Egne beregninger basert på volum av produsert biogass.

<sup>133</sup> Nordic Investment Bank (u.å.). Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS). Tilgjengelig på: <https://www.nib.int/loan/vestfjorden-avlopsselskap-veas-22605> (hentet april 2026).

Oslo, Bærum, Asker og Nesodden.<sup>134</sup> Anlegget produserer over 10 millioner Nm<sup>3</sup> rå biogass per år fra slambehandling, hvor den separerte CO<sub>2</sub>-strømmen etter oppgradering utgjør omtrent 7-8 ktCO<sub>2</sub>/år.

I mars 2026 lanserte Inherit Carbon Solutions (gjennom HoopCO<sub>2</sub>, et datterselskap av VEAS) verdens første prosjekt for permanent geologisk lagring av biogen CO<sub>2</sub> fra biogassproduksjon ved VEAS. Prosjektet fanger 6-7 ktCO<sub>2</sub>/år, som transporteres med biogassdrevet tankbil til Northern Lights' mottaksterminal på Øygarden for permanent geologisk lagring.<sup>135</sup>

### Romerike Biogassanlegg

Oslos kildesorterte matavfall behandles i dag ved Romerike Biogassanlegg, som drives av Romerike Biogass IKS og er lokalisert i Nes kommune i Akershus. Under oppgradering av biogass separeres CO<sub>2</sub> som et høyrent prosessbiprodukt (95-99% CO<sub>2</sub>), teknisk tilsvarende Bekkelaget og VEAS. Anlegget behandler i dag hovedsakelig Oslos matavfall, og har som kommunalt eid anlegg vært underlagt juridiske og regulatoriske begrensninger knyttet til mottak av avfall fra andre kommuner. Dette har vært en av driverne bak byrådets anbefaling om å selge anlegget til Alltec.<sup>136</sup> En avstemning i bystyret om salget pågår på tidspunktet for ferdigstilling av denne rapporten (mai 2026).

Det årlige biogene CO<sub>2</sub>-volumet fra Romerike er estimert til omtrent 4-5 kt CO<sub>2</sub>/år.<sup>137</sup>

I hvilken grad Oslo kan inkludere CDR generert ved VEAS og potensielt ved Romerike i sitt klimaregnskap diskuteres i Boks 13 nedenfor.

---

### Boks 13 Kan Oslo inkludere CDR generert ved VEAS og Romerike i sitt klimaregnskap?

---

#### Det overordnede problemet

Oslo genererer eller behandler ikke sine biogene avfallsstrømmer isolert. Noen av de relevante CDR-muliggjørende anleggene i regionen er enten fysisk lokalisert utenfor Oslos administrative grenser, felleseid med andre kommuner eller behandler avfall som stammer fra flere kommuner. Dette skaper en viktig regnskapsmessig utfordring: dersom flere kommuner hver for seg gjør krav på CDR fra samme anlegg eller samme avfallsstrøm, kan den samme mengden CDR bli telt mer enn én gang.

Tre allokeringssprinsipper er anerkjent i internasjonale standarder for klimagassregnskap, og disse gir ulike resultater og kan forsvares under ulike tilnærminger:

- Territorielt prinsipp (IPCC 2006 Guidelines; GPC<sup>138</sup> Scope 1)  
CDR tilordnes den administrative enheten der den fysiske fangstprosessen finner sted, uavhengig av hvor avfallet oppstod eller hvem som eier anlegget. Dette er standardtilnærmingen i nasjonale klimaregnskap og hovedgrunnlaget i GPC-rammeverket som brukes i kommunale klimaplaner
- Prinsipp basert på avfallsopprinnelse / forbruksbasert prinsipp (analogt med GPC Scope 3):  
CDR tilordnes den administrative enheten der innbyggerne genererte avfallet som produserte den biogene CO<sub>2</sub>-en. Under dette prinsippet fordeles CDR mellom bidragende kommuner proporsjonalt med deres andel av avfallsstrømmen.
- Prinsipp basert på eierskap / operasjonell kontroll (ISO 14064-1:2018):

---

<sup>134</sup> VEAS (u.å.). VEAS. Tilgjengelig på: <https://veas.no/> (hentet april 2026).

<sup>135</sup> Inherit Carbon Solutions (u.å.). Inherit enters operation with world's first carbon removal project from biogas in Norway.

Tilgjengelig på: <https://www.inheritcarbonsolutions.com/news/inherit-enters-operation-with-worlds-first-carbon-removal-project-from-biogas-in-norway> (hentet april 2026).

<sup>136</sup> Oslo kommune (u.å.). Byrådet anbefaler salg av Romerike biogassanlegg. Tilgjengelig på: <https://aktuelt.oslo.kommune.no/byradet-anbefaler-salg-av-romerike-biogassanlegg> (hentet april 2026).

<sup>137</sup> Egne beregninger basert på matavfallsmengder (5 000 tonn), biogassutbytte og CO<sub>2</sub>-andel i rå biogass.

<sup>138</sup> World Resources Institute (WRI) (2022). Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) – Executive summary. Tilgjengelig på: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GPC\\_Executive\\_Summary\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GPC_Executive_Summary_1.pdf) (hentet april 2026).

CDR tilordnes proporsjonalt med hver kommunes eierandel eller operasjonelle kontroll over anlegget, uavhengig av fysisk lokasjon eller avfallets opprinnelse.

Tabell 22 viser hvordan valg av regnskapsprinsipp påvirker hvor mye CDR Oslo kan tilordne seg. Merk at enkelte verdier er veldig usikre (i kursiv) og kun brukes til illustrasjonsformål.

Tabell 22 Oslos realistiske CDR-potensial under ulike tilordningsprinsipper - illustrative resultater<sup>139</sup>

|                                        |       |                 |                        | Oslos realistisk CDR potensial, ktCO <sub>2</sub> /år |                                    |                                       |
|----------------------------------------|-------|-----------------|------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Anlegg                                 | Sted  | Oslos eierandel | Oslos andel av råstoff | Territorielt prinsipp                                 | Eierskapsprinsipp                  | Prinsipp basert på avfallsopprinnelse |
| Klemetsrud                             | Oslo  | 60%*            | ≈ 7%                   | 160 kt/år                                             | 97 kt/år                           | ≈ 11 kt/år                            |
| Haraldrud gjenvinningsanlegg           | Oslo  | 100%            | 100%                   | 120 kt/år                                             | 42 kt/år                           | 120 kt/år                             |
| Haraldrud varmesentral                 | Oslo  | 60%*            | 100%                   |                                                       | 47 kt/år                           |                                       |
| Bekkelaget                             | Oslo  | 100%            | ≈ 40%                  | 3 kt/år                                               | 3 kt/år                            | 1,2 kt/år                             |
| VEAS                                   | Asker | 70,5%           | ≈ 66%                  | 0 kt/år                                               | 4,2 kt/år                          | 3,9 kt/år                             |
| Romerike                               | Nes   | 100%**          | 100%                   | 0 kt/år                                               | 4 kt/år<br>(0 ved salg til Alltec) | 4 kt/år                               |
| Totalt CDR (hva Oslo kan tilordne seg) |       |                 |                        | 283 kt/år                                             | ≈ 197 kt/år                        | ≈ 141 kt/år                           |

\*Via Hafslund

\*\* Under behandling for salg til Alltec

#### Implikasjoner for Oslos CDR-regnskap

Den viktigste observasjonen fra kartleggingen over er Klemetsrud. Anvendelse av det territorielle prinsippet gir Oslo full kreditering for Klemetsrud (160 kt biogen CO<sub>2</sub>/år). Dersom Oslo skulle argumentere for en ikke-territoriell tilnærming for å kunne tilordne seg CDR fra anlegg utenfor kommunegrensen, slik som Romerike og VEAS, må byen samtidig akseptere at den samme logikken, anvendt konsekvent, vil redusere Oslos andel fra Klemetsrud betydelig. Dersom et prinsipp basert på avfallsopprinnelse anvendes likt på tvers av alle anleggene, vil Oslos totale realistiske CDR-potensial sannsynligvis reduseres fra omtrent 283 kt til nærmere 141 kt.

Tabellen nedenfor oppsummerer resultatene fra vurderingen av bio-CO<sub>2</sub>-kilder presentert i dette kapitlet.

<sup>139</sup> Resultatene er illustrative og er basert på bio-CO<sub>2</sub> utslipp fra anleggene, dvs. tar ikke med i betraktning fangstrate og utslippene som oppstår i CCS verdikjede og dermed må trekkes fra CDR potensialet (removal efficiency)

Tabell 23 Biogene CO<sub>2</sub>-kilder i Oslo og Oslo-tilknyttede anlegg - oppsummering

| Anlegg                                   | Bio-CO <sub>2</sub> rapportert i 2023 - kt/år | Maks bio-CO <sub>2</sub> <sup>140</sup> - kt/år | Andel bio-CO <sub>2</sub> | Total CO <sub>2</sub> (fossil + biogen) - kt/år | Total CO <sub>2</sub> (maks, fossil + biogen) - kt/år | Effektbehov for CO <sub>2</sub> fangst (biogen + fossil) – MW (nå-maks) | Lastprofil            | Lokasjonsbegrensninger                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Hvordan inkludert i potensialestimeringen i denne studien                    |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Innenfor Oslos geografiske grense</i> |                                               |                                                 |                           |                                                 |                                                       |                                                                         |                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                              |
| Klemetsrud                               | 190                                           | 191,6                                           | ≈ 50%                     | 380                                             | 383,2                                                 | 24-25                                                                   | Grunnlast             | Ingen kjente fysiske begrensninger på tomten.                                                                                                                                                                                                                                                                         | Inkludert i både maksimalt teknisk og realistisk potensial                   |
| Haraldrud energigjenvinnings anlegg      | 49                                            | 72,5                                            | ≈ 55%                     | 89,1                                            | 131,8                                                 | 6-8                                                                     | Grunnlast             | Stort industriområde i Groruddalen. Direkte tilgang til E6 mot Sjursøya (ca. 10 km). Samlokalisert med omtrent 100-150 m mellom anleggene. Delt CCS-infrastruktur (felles fangstenhet + CO <sub>2</sub> -flytendegjøring + lasteområde for tankbil) som betjener begge Haraldrud-anleggene er teknisk gjennomførbart. | Inkludert i både maksimalt teknisk og realistisk potensial                   |
| Haraldrud varmesentral                   | 92                                            | 93,7                                            | ≈ 95%                     | 97,1                                            | 99                                                    | 6                                                                       | Grunnlast / spisslast | Ingen kjente fysiske begrensninger på tomten.                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                              |
| Hoff varmesentral                        | 9,1                                           | 48,2                                            | ≈ 100%                    | 9,1                                             | 48,2                                                  | 0,5-3                                                                   | Spisslast             | Boligområde. Ingen plass på tomten til fangstanlegg, CO <sub>2</sub> -lagringstanker eller lasteområde for tankbil. Transport til Sjursøya må krysse hele byen gjennom tett bolig- og                                                                                                                                 | Inkludert i maksimalt teknisk potensial; ekskludert fra realistisk potensial |

<sup>140</sup> Basert på tillatelser for Klemetsrud, Haraldrud (begge anlegg), Hoff, Rodeløkka og Romerike. For VEAS og Bekkelaget brukes dagens estimerte utslipp av bio-CO<sub>2</sub>

| Anlegg                                                                                               | Bio-CO <sub>2</sub> rapportert i 2023 - kt/år | Maks bio-CO <sub>2</sub> <sup>140</sup> - kt/år | Andel bio-CO <sub>2</sub> | Total CO <sub>2</sub> (fossil + biogen) - kt/år | Total CO <sub>2</sub> (maks, fossil + biogen) - kt/år | Effektbehov for CO <sub>2</sub> fangst (biogen + fossil) – MW (nå-maks) | Lastprofil | Lokasjonsbegrensninger                                                                                                                                                                                                                                                                        | Hvordan inkludert i potensialestimeringen i denne studien                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                      |                                               |                                                 |                           |                                                 |                                                       |                                                                         |            | næringsbebyggelse uten dedikert industriell transportkorridor.                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                          |
| Rodeløkka varmesentral                                                                               | 8,9                                           | 80,4                                            | ≈ 100%                    | 8,9                                             | 80,4                                                  | 0,5-5                                                                   | Spisslast  | Tidligere Freia-fabrikk på Grünerløkka i tett indre by. Integrert i eksisterende bygningsmasse med svært begrenset tilgjengelig areal for fangstanlegg, CO <sub>2</sub> -tanker eller lasteområde for tankbil. Transport til Sjørsøya må gå gjennom de mest trafikkerte delene av indre Oslo. | Inkludert i maksimalt teknisk potensial; ekskludert fra realistisk potensial                                                                             |
| Bekkelaget renseanlegg                                                                               | 3,2                                           | 3,2                                             | 100%                      | 3,2                                             | 3,2                                                   | 0,05                                                                    | Grunnlast  | Ingen kjente begrensninger på tomten. God veitilgang til Sjørsøya via E18/Mosseveien.                                                                                                                                                                                                         | Inkludert i maksimalt teknisk potensial; ekskludert fra realistisk potensial for BECCS, men inkludert i realistisk potensial for mineral karbonatisering |
| <i>Utenfor Oslos geografiske grense. Oslo eier anlegget eller er hovedkilde til avfallsstrømmen.</i> |                                               |                                                 |                           |                                                 |                                                       |                                                                         |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                          |
| Romerike Biogassanlegg                                                                               | 4,4                                           | 4,4                                             | 100%                      | 4,4                                             | 4,4                                                   | 0,1                                                                     | Grunnlast  | Industriområde i Nes kommune med god plass og uten urbane begrensninger.                                                                                                                                                                                                                      | Ekskludert; potensial beregnet og presentert separat på grunnlag av "råstofftilførsel" eller eierskap                                                    |

## CARBON LIMITS

| Anlegg | Bio-CO <sub>2</sub> rapportert i 2023 - kt/år | Maks bio-CO <sub>2</sub> <sup>140</sup> - kt/år | Andel bio-CO <sub>2</sub> | Total CO <sub>2</sub> (fossil + biogen) - kt/år | Total CO <sub>2</sub> (maks, fossil + biogen) - kt/år | Effektbehov for CO <sub>2</sub> fangst (biogen + fossil) – MW (nå-maks) | Lastprofil | Lokasjonsbegrensninger                                                              | Hvordan inkludert i potensialestimeringen i denne studien                                             |
|--------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VEAS   | 6,5                                           | 7,8                                             | 100%                      | 6,5                                             | 7,8                                                   | 0,1                                                                     | Grunnlast  | Industrilokasjon ved fjorden. CCS-infrastruktur er allerede installert og operativ. | Ekskludert; potensial beregnet og presentert separat på grunnlag av "råstofftilførsel" eller eierskap |

*Fremskrivning til 2040:* Utslipp av biogen CO<sub>2</sub> fra Oslos registrerte punktkilder antas å være tilnærmet stabile mellom 2026 og 2040, basert på at motvirkende trender i stor grad vil utligne hverandre.

På den ene side har Oslos biogene avfall per innbygger falt med om lag 0,7% per år de siste 5 årene<sup>141</sup>, noe som reflekterer bedre avfallsforebygging og økt kildesortering. Dersom denne trenden fortsetter, vil restavfall per innbygger, og dermed det biogene innholdet i råstoffet ved Klemetsrud og Haraldrud, reduseres ytterligere innen 2040.

På den andre side kan følgende faktorer motvirke dette:

- Befolkningsvekst – SSB anslår at Oslos befolkning øker med om lag 70 000 personer frem mot 2040, fra rundt 725 000 i dag til nær 795 000.<sup>142</sup> Denne absolutte veksten øker direkte restavfallsgenereringen i byen og kan delvis eller fullt ut oppveie nedgangen per innbygger. En befolkningsøkning på 20% kombinert med en årlig reduksjon på 0,7% per innbygger innebærer fortsatt tilnærmet stabile totale avfallsvolumer.
- Sammensetning av restavfall – Etter hvert som resirkulerbare og organiske fraksjoner i økende grad sorteres ut av avfallsstrømmen, blir restfraksjonen som går til Klemetsrud og Haraldrud mer konsentrert i materialer som er vanskeligere å eliminere, inkludert biogene fraksjoner som forurensset papir, papp, trevirke og tekstiler. Den biogene andelen av restavfallet kan derfor forbli stabil eller øke selv om totale avfallsvolumer stabiliseres.

Samlet sett støtter disse faktorene antakelsen om at biogen CO<sub>2</sub> fra Oslos punktkilder forblir på omtrent samme nivå frem til 2040.

### *Estimering av det maksimale tekniske potensialet*

For BECCS beregnes det maksimale tekniske potensialet ved å anta at all biogen CO<sub>2</sub> tilgjengelig innenfor Oslos territorielle grense allokeres til BECCS, uavhengig av kildestørrelse, teknisk gjennomførbarhet eller konkurrerende anvendelser. Alle seks territorielle kilder er inkludert. Netto fjerningseffektivitet på 95%<sup>143</sup> anvendes for alle anlegg.

Det maksimale tekniske potensialet beregnes som:

$$\text{BECCS potensial (ktCO}_2\text{/year)} = \text{BioCO}_2 \text{ available (ktCO}_2\text{)} \times \text{Removal efficiency (\%)}$$

Verdiene for parameterne brukt i beregningen er presentert i Tabell 24.

<sup>141</sup> Oslo kommune. (u.å.). *Forbruk og avfall*. Oslo kommune. <https://www.oslo.kommune.no/statistikk/miljostatus/forbruk-og-avfall/>

<sup>142</sup> SSB. (2024). *Statistic on regional population projections*.

<https://www.ssb.no/en/befolkning/befolkningsframskrivinger/statistikk/regionale-befolkningsframskrivinger>

<sup>143</sup> Emissions caused by the CCS chain represents about 5% of CO<sub>2</sub> captured and stored yearly (based on the LCA of Klemetsrud CCS project)

Tabell 24 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk BECCS-potensial

| Parameter                                             | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelig bio-CO <sub>2</sub> (ktCO <sub>2</sub> ) | 441           | Basert på maksimale bio-CO <sub>2</sub> -mengder fra Klemetsrud, Haraldrud (x2), Hoff, Rodeløkka og Bekkelaget (se Tabell 23).<br>Det er anvendt en fangstrate på 90% for avfallsforbrenningsanlegg og 97% for oppgradering av biometan, slik at tallet representerer mengden CO <sub>2</sub> som teknisk kan fanges. |
| Fjerningseffektivitet (%)                             | 95%           | Fjerningseffektiviteten tar hensyn til utslipp forårsaket av CCS-kjeden, som utgjør omtrent 5% av CO <sub>2</sub> som fanges og lagres årlig.                                                                                                                                                                         |
| BECCS-potensial (ktCO <sub>2</sub> /år)               | 419           | Beregnet                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

*Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

Biogen CO<sub>2</sub> kan ha konkurrerende anvendelser, og CCS-implementering er kun teknisk og økonomisk gjennomførbart ved kilder som oppfyller minimumskriterier knyttet til skala, driftskontinuitet, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og tilgjengelighet på tomten.

Tre kilder er ekskludert fra det realistiske scenarioet av årsakene presentert i det forrige kapitlet: Hoff, Rodeløkka og Bekkelaget.

Det realistiske BECCS-scenarioet begrenser utbygging til Klemetsrud og Haraldrud (begge anlegg), de to største biogene punktkildene for CO<sub>2</sub>, begge lokalisert i Oslos industrikorridor og kan ha tilgang til CO<sub>2</sub>-terminalen på Sjursøya. Inkluderingen av Haraldrud er betinget av at en pre-FEED- eller gjennomførbarhetsstudie igangsettes rundt 2030-2031, slik at det er tilstrekkelig tid til tillatelser, bygging og idriftsettelse før 2040. CO<sub>2</sub>-transport- og lagringsinfrastrukturen som bygges for Klemetsrud vil være operativ og mest sannsynlig tilgjengelig for Haraldrud innen et potensielt CCS prosjekt kan settes i drift.

Det realistiske BECCS-potensialet estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{BECCS potential (ktCO}_2\text{/year)} = \text{Technically capturable BioCO}_2 \text{ (ktCO}_2\text{)} \times \text{Removal efficiency (\%)}$$

Følgende parameterverdier er brukt i beregningen:

Tabell 25 Parametere brukt i beregningene for realistisk BECCS-potensial

| Parameter                                                    | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknisk fangbart biogen CO <sub>2</sub> (ktCO <sub>2</sub> ) | 300           | Basert på faktiske bio-CO <sub>2</sub> -mengder fra Klemetsrud og Haraldrud. Det er anvendt en fangstrate på 90%, slik at tallet representerer CO <sub>2</sub> som teknisk kan fanges. |
| Fjerningseffektivitet (%)                                    | 95%           | Fjerningseffektiviteten tar hensyn til utslipp forårsaket av CCS-kjeden, som utgjør omtrent 5% av CO <sub>2</sub> som fanges og lagres årlig.                                          |
| BECCS-potensial (ktCO <sub>2</sub> /år)                      | 283           | Beregnet                                                                                                                                                                               |

## DACCS

### Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren

Den viktigste begrensende faktoren for utbygging av DACCS er tilgjengelig areal i egnede havneområder. DACCS-anlegg krever nærhet til CO<sub>2</sub>-transport- og lagringsinfrastruktur, noe som i Oslo-kontekst innebærer utbygging ved eller i nærheten av Oslo Havn. Som følge av dette antas DACCS-utbygging kun å være gjennomførbart ved Oslo Havn, noe som gjør tilgjengelig havneareal til den primære fysiske begrensningen for storskala utbygging.

### Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet

Oslo er Norges minste fylke målt i landareal (415 km<sup>2</sup>)<sup>144</sup> og det mest tettbefolkede<sup>145</sup>, noe som medfører sterk konkurranse om tilgjengelige arealer. Bebygde områder utgjør omtrent 28% av Oslos totale areal. Åpne arealer med fast grunn utgjør kun omtrent 2% av totalarealet, tilsvarende omtrent 6,8 km<sup>2</sup>.<sup>145</sup>

Innenfor det bebygde området utpeker Oslos kommuneplan mot 2040 flere områder for industri- og logistikkformål under U6-regulering.<sup>146</sup> Disse områdene, inkludert Alna, Alnabru, Brobekk, Haraldrud sør, Karihaugen, Kjelsrud, Leirdal, Nyland og Stubberud, utgjør totalt omtrent 5,7 km<sup>2</sup> og representerer de mest realistiske lokaliseringalternativene for infrastrukturintensive CDR-anlegg som DACCS. Disse områdene er imidlertid allerede i stor grad tatt i bruk til eksisterende økonomisk aktivitet og er ikke reservert for CDR-formål.

For DACCS spesifikt er det mest hensiktsmessige lokaliseringsalternativet i Oslo havneområdet på Sjursøya, hvor infrastruktur for eksport av CO<sub>2</sub> utvikles som del av Klemetsrud CCS-prosjektet. En DACCS-enhet samlokalisert på Sjursøya vil kunne kobles direkte til kjeden for CO<sub>2</sub>-flytendegjøring, lasting og skipstransport som bygges for Klemetsrud, og dermed unngå behovet for separat transportinfrastruktur. Havneterminalen er planlagt å motta om lag 30 lastebiler per dag fra Klemetsrud fra 2029.<sup>147</sup> I det mest optimistiske scenariet kan havneområdet på Sjursøya i prinsippet utvides til rundt 0,26 km<sup>2</sup>, som dekker hele det tilgjengelige havnearealet, for å romme ytterligere CDR-kapasitet utover Klemetsrud (Figur 11).

Figur 11 Potensielt tilgjengelig areal på Sjursøya



*Fremskriving til 2040:* Arealtilgjengeligheten i Oslo forventes ikke å forbedres vesentlig frem mot 2040. Fortsatt befolkningsvekst og press på boligbygging vil øke konkurransen om urbant areal. U6-områdene er fastsatt i gjeldende kommuneplan, og det forventes ikke betydelig nytt industriområde. Siursøya

<sup>144</sup> Statistics Norway (2025, 18. august). 09594: Land use and land cover (km<sup>2</sup>), by year, region, contents and area classification. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/en/statbank/table/09594> (hentet april 2026).

<sup>145</sup> Kartverket (2026). Fakta om Norge: Størrelsen på landet. Tilgjengelig på: <https://kartverket.no/til-lands/fakta-om-norge/storleiken-pa-landet> (hentet april 2026).

<sup>146</sup> Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten. (2023). *Temakart T1 byggeområder: Kommuneplanens arealdel Oslo mot 2040* [Kart]. <https://innsyn.pbe.oslo.kommune.no/saksinnsyn/showfile.asp?ino=2023087821&fileid=10881389>

<sup>147</sup> ST1, 2026. <https://st1.no/artikkel/St1-inngaar-avtale-om-infrastruktur-i-stort-CO2-fangst-og-lagringsprosjekt>

havneområde behandles derfor som den primære og i praksis faste arealressursen tilgjengelig for infrastrukturavhengig CDR i Oslo. Areal inngår ikke i beregningen av realistisk potensial i modellen, men brukes kun til å kontekstualisere fysiske begrensninger for DACCS-pilotutbygging (og brukes til å estimere maksimalt teknisk potensial for DACCS i 2040).

#### Boks 14 Elektrisitet som en begrensende faktor for DACCS

Oslo produserer om lag 180 GWh elektrisitet lokalt<sup>148</sup> mot et totalt forbruk på rundt 8

TWh<sup>149</sup>, og importerer over 97% av strømmen. Maksimal effektterspørsel har vært relativt stabil på rundt 2100 MW siden 2009. Statnett har identifisert betydelige behov for nettförsterkning i Oslo- og Akershus-regionen, inkludert oppgradering til 420 kV, og nye store nettilknytninger krever spesielle vilkår inntil disse tiltakene er gjennomført.<sup>150</sup> Kraftløftet anslår at registrerte forespørsler om nettilgang tilsvarer en økning i maksimal etterspørsel på 19% for regionen.<sup>151</sup>

Den dominerende begrensningen i kraftsystemet er ikke årlig energitilgang, men effektbelastning, særlig i vintermånedene. Ifølge Klimaetaten har maksimal effektterspørsel i Oslo vært relativt stabil på rundt 2100 MW siden 2009, til tross for økt elektrifisering. Dette kan forklares med bedre energieffektivitet i bygg og mer fleksible bruksmønstre. Samtidig har kraftsystemet ledig kapasitet rundt 90% av året, med begrensninger konsentrert til kalde vinterperioder når oppvarmingsbehovet er høyest.

Elektrisitet allokeres ikke som en ressurs i den kvantitative potensialberegningen. Den inkluderes her kun for å støtte den kvalitative vurderingen av gjennomførbarheten av en DACCS-pilot, hvor nettkapasitet identifiseres som den viktigste begrensningen for utbyggingsskala. Eventuell DACCS-utbygging i Oslo må baseres på kapasitet frigjort gjennom energieffektivisering, særlig overgang fra direkte elektrisk oppvarming til fjernvarme<sup>152</sup>, snarere enn nye nettilkoblinger eller kapasitetsutvidelser.

#### Estimering av maksimalt teknisk potensial

Under antakelser om maksimalt teknisk potensial er DACCS-potensialet begrenset av arealet på Sjørsøya, under en implisitt forutsetning om at alt egnet areal innenfor dette området kan allokeres til DACCS-installasjoner. En slik allokering er imidlertid svært lite sannsynlig i praksis, gitt de strategiske og konkurrerende arealbruksinteressene i området.

Det maksimale tekniske DACCS-potensialet estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{DACCS potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\text{land available (km}^2\text{)}}{\text{Land needed (}\frac{\text{m}^2}{\text{tCO}_2}\text{)}} \times 1000$$

<sup>148</sup> Statistics Norway. (2023). *Produksjon av elektrisk kraft (GWh), etter region, år og statistikkvariabel* (Table 08308) [Data set]. StatBank Norway. <https://www.ssb.no/statbank/table/08308>

<sup>149</sup> Statistics Norway. (2023). *Nettoforbruk av elektrisk kraft (GWh), etter region, statistikkvariabel, år og forbrukergruppe* (Table 10314) [Data set]. StatBank Norway. <https://www.ssb.no/statbank/table/10314>

<sup>150</sup> Statnett SF. (2024). *Area plan Oslo, Akershus and Østfold 2024*.

<sup>151</sup> Næringslivets Hovedorganisasjon. (2023). *Kraftløftet Oslo og Akershus – regionalt kunnskapsgrunnlag*.

<sup>152</sup> THEMA Consulting Group. (2024). *Fjernvarme og områdekjøling: Barrierer og virkemidler* (THEMA Report 2024–08)

Tabell 26 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk DACCS-potensial

| Parameter                                      | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                               |
|------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelig areal (km <sup>2</sup> )          | 0,26          | Sjursøya                                                                                         |
| Arealbehov (m <sup>2</sup> /tCO <sub>2</sub> ) | 1,45          | Direkte fotavtrykk fra fangstanlegg og tilhørende infrastruktur på anleggsområdet <sup>153</sup> |
| DACCS-potensial (ktCO <sub>2</sub> /år)        | 179           | Beregnet                                                                                         |

#### *Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

I det realistiske scenarioet forutsettes ingen utbygging av DACCS. Dette reflekterer vurderingen om at DACCS, i Oslo-konteksten og innenfor den analyserte tidshorisonten (2040), kommer mest sannsynlig å ikke representere et økonomisk relevant alternativ sammenlignet med andre CDR-løsninger.

Det realistiske scenarioet anerkjenner at et mindre DACCS-pilotanlegg samlokalisert på Sjursøya er teknisk gjennomførbar som et demonstrasjons- og læringsprosjekt, men dette er ikke inkludert i det kvantitative potensialet gitt fraværet av forpliktende investeringer eller politiske støtteordninger.

## Biokull

#### *Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren*

Den begrensende faktoren for biokull er lokalt tilgjengelig biomasse. Biomasseressursene er begrenset til avfalls- og reststrømmer generert i Oslo (f.eks. avfallstrevirke og urbant grøntavfall), og det forutsettes ingen dedikert produksjon av biomasse.

#### *Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet*

Oslo genererer omtrent 36 kt biogent materiale årlig. Basert på tørrstoffinnhold domineres dette materialet av matavfall (7,8 kt), avløpsslam (7,5 kt), avfallstrevirke (13 kt) og park- og hageavfall (8 kt).<sup>154</sup>

For å estimere biokullpotensialet vurderes kun avfallstrevirke, urbant grøntavfall (park- og hageavfall) og avløpsslam som tilgjengelig råstoff, totalt omtrent 29 kt tørrstoff/år. Andre organiske avfallsstrømmer er ekskludert med begrunnelse i at de allerede er fullt allokert til andre anvendelser eller er mer krevende å omdirigere til CDR:

- Kommunalt fast avfall (matavfall og blandet organisk husholdningsavfall) er ekskludert fordi det ikke antas å være tilgjengelige overskuddsvolumer innen 2040. Oslos restavfallsstrøm er allerede nesten fullstendig utnyttet: mindre enn 1-2% av husholdningsavfallet går til deponi<sup>155</sup>, mens resten behandles gjennom forbrenning på Klemetsrud og Haraldrud eller omdannes til biogass.

Oslo har et eksplisitt mål om å redusere avfallsgenerering, og totalt biogent avfall per innbygger har falt med omtrent 0,7% per år de siste fem årene.<sup>156</sup> Innen 2040 forventes denne trenden å redusere de absolutte avfallsvolumene ytterligere. Samtidig vil utbygging av BECCS på Klemetsrud øke, snarere enn redusere, konkurransen om biogene avfallsstrømmer. Det finnes derfor ikke et troverdig grunnlag for å anta at matavfall og blandet organisk husholdningsavfall kan omdirigeres til biokull innen 2040.

<sup>153</sup> Fra IPCC (2022), AR6 Working Group III – Chapter 12: *Cross-sectoral perspectives* og Muhlbauer et al. (2025), *Assessment of technologies and economics for carbon dioxide removal from a portfolio perspective*

<sup>154</sup> Estimated based on data fra COWI.

<sup>155</sup> City of Oslo (2025). *Oslo European Green Capital: 5-year report*.

<sup>156</sup> Oslo kommune (u.å.). Forbruk og avfall. Tilgjengelig på: <https://www.oslo.kommune.no/statistikk/miljostatus/forbruk-og-avfall/> (hentet april 2026).

- Avløpsslam generert ved Oslos avløpsrenseanlegg behandles i dag hovedsakelig gjennom anaerob nedbrytning for biogassproduksjon og påfølgende bruk i landbruket. Etter tørking og biogassproduksjon reduseres de opprinnelige 29 kt avløpsslam til omtrent 2,4 kt tørrstoff.<sup>154</sup> I dag brukes slammet i landbruket, men det kan i prinsippet omdirigeres til biokullproduksjon.
- Avfallstrevirke og urbant grøntavfall (til sammen omtrent 21 kt tørrstoff/år) sendes i dag til kverning etterfulgt av kompostering. Denne strømmen kan i prinsippet omdirigeres til biokullproduksjon og er derfor inkludert i CDR-potensialet, og utgjør hoveddelen av råstoffgrunnlaget for potensialet for biokullproduksjon i Oslo.

*Fremskriving mot 2040:* Den nedadgående trenden i avfall per innbygger kan redusere dette noe, men økt bygrønn politikk kan delvis oppveie dette for grøntavfall. Sensitiviteten for denne antakelsen er lav: en reduksjon på 25% i råstoff ville redusere biokull-CDR-potensialet med kun om lag 4 ktCO<sub>2</sub>/år. Fremskrivingene mot 2040 for avløpsslam er korrelert med forventet befolkningsvekst. Inputverdien brukt i potensialestimeringen for 2040 er 29 kt tørrstoff/år av avfallstrevirke, urbant grøntavfall og slam.

#### *Estimering av maksimalt teknisk potensial*

Det maksimale tekniske potensialet for CO<sub>2</sub>-fjerning er basert på konvertering av biomasseressurser som ikke allerede er allokert til eksisterende avfallsbehandlings- og energigjenvinningssystemer, eller som i prinsippet kan omdirigeres til biokullproduksjon.

Det maksimale tekniske potensialet for biokull estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{Biochar potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\sum \text{Biomass available (kt)}}{\text{feedstock need (}\frac{\text{t}}{\text{tCO}_2}\text{)}}$$

Tabell 27 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk biokull-potensial

| Parameter                                | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                  |
|------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelig biomasse (kt)               | 29            | Inkluderer avfallstrevirke, urbant grøntavfall og avløpsslam.                                                       |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )       | 1,35          | Gjennomsnitt av innsamlede verdier, med en karbonfjerningsfaktor på 2,5 tCO <sub>2</sub> /t biokull. <sup>157</sup> |
| Biokullpotensial (ktCO <sub>2</sub> /år) | 22            | Beregnet                                                                                                            |

#### *Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

Det tekniske og realistiske potensialet for biokull er sammenfallende og basert på det samme typer og mengder av råstoffer, nemlig avfallstrevirke, urbant grøntavfall og avløpsslam.

Det realistiske potensialet for biokull estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{Biochar potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\sum \text{Biomass available (kt)} \times \text{share of biomass allocated to Biochar (\%)}}{\text{feedstock need (}\frac{\text{t}}{\text{tCO}_2}\text{)}}$$

<sup>157</sup> Fra Carbofex (2023), LCA Report – Carbofex's biochar product og Panic et al. (2025), Valorization of waste biomass towards biochar production.

Tabell 28 Parametere brukt i beregningene for realistisk biokull-potensial

| Parameter                                | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                 |
|------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelig biomasse (kt)               | 29            | Inkluderer avfallstrevirke, urbant grøntavfall og avløpsslam.                                                      |
| Andel biomasse allokert til biokull (%)  | 100%          | Antar at hele mengden tilgjengelige biomasse kan brukes til biokullproduksjon                                      |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )       | 1,35          | Gjennomsnitt av innsamlede verdier, med en karbonjerningsfaktor på 2,5 tCO <sub>2</sub> /t biokull. <sup>158</sup> |
| Biokullpotensial (ktCO <sub>2</sub> /år) | 22            | Beregnet                                                                                                           |

## Mineral karbonatisering

### Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren

Den begrensende faktoren for mineral karbonatisering er tilgangen på *alkaliske industrielle restmaterialer* generert innenfor Oslo, slik som rivnings- og forbrenningsrester. Selv om mineral karbonatisering også kan utnytte primære mineraler som olivin, produseres disse utenfor Oslo og er derfor ikke inkludert i analysen.

### Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet

Mellom 2015 og 2023 genererte industrielle kilder i Oslo i gjennomsnitt om lag 77 kt/år av alkalisk avfall, inkludert slagg, støv, bunnaske og flygeaske, hovedsakelig fra Hafslund Celsios anlegg.<sup>159</sup> I perioden 2020-2023 ble størstedelen av dette materialet levert til deponi, noe som indikerer at det ikke per i dag er bundet til annen produktiv bruk og i prinsippet er tilgjengelig for omorientering til mineral karbonatisering.

Primære mineraler (olivin, basalt) ekskluderes fra vurderingen av mineral karbonatisering. Olivinbrytning i Norge er konsentrert i vestlige regioner, omtrent 400-500 km fra Oslo.<sup>160</sup> Transport av de store volumene som kreves (omtrent 1,6-5 tonn mineral per tonn CO<sub>2</sub> lagret<sup>161</sup>) ville medføre betydelige utslipp og kostnader som svekker netto karbonbalanse. Lokalt tilgjengelig alkalisk rivningsavfall er en mer hensiktsmessig råstoffkilde, ettersom det allerede finnes i Oslo, ikke er bundet til bruk og unngår lang transportavstand.

*Fremskriving til 2040:* Strømmen av alkalisk restmateriale er direkte knyttet til avfallsbehandlingsvolumene ved Hafslund Celsios anlegg, som antas å være tilnærmet stabile. Inputdataene for 2040 i potensialestimatet er 77 kt/år, uendret fra dagens nivå.

### Estimering av maksimalt teknisk potensial

Det maksimale tekniske potensialet er begrenset av tilgjengeligheten av alkaliske industrielle restmaterialer generert i Oslo.

Maksimalt teknisk potensial for mineral karbonatisering estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{MC potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\text{Alkaline industrial residues available (kt)}}{\text{Feedstock need (}\frac{\text{t}}{\text{tCO}_2}\text{)}}$$

<sup>158</sup> Fra Carbofex (2023), LCA Report – Carbofex's biochar product og Panic et al. (2025), Valorization of waste biomass towards biochar production.

<sup>159</sup> Miljødirektoratet. (u.å.). *Inorganic material (waste component)*. Norske utslipp.

<https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Waste/Uorganisk-materiale/?ComponentType=avfall&WasteComponentPageID=339>

<sup>160</sup> Sibelco. (u.å.). The world's largest commercial olivine deposit. <https://www.sibelco.com/en/150-years/aheim>

<sup>161</sup> IPCC. (2018). Special report on carbon capture and storage – Chapter 7

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter7-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf)

Tabell 29 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk potensial for mineral karbonatisering

| Parameter                                                | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelige alkaliske industrielle restmaterialer (kt) | 76,8          | Data fra Miljødirektoratet                                                                                                        |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )                       | 3,77          | Gjennomsnitt av innsamlede verdier. Sammensetningsavhengig og spesifikt for alkaliske industrielle restmaterialer. <sup>162</sup> |
| MK potensial (ktCO <sub>2</sub> /år)                     | 20            | Beregnet                                                                                                                          |

*Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

I praksis er det oppnåelige potensialet for mineral karbonatisering begrenset av tilgang på konsentrert biogen CO<sub>2</sub>, som er nødvendig for karboniseringsprosessen. I Oslo-kontekst forutsettes det i det realistiske scenarioet at store biogene punktkilder prioriteres til BECCS. Som følge av dette er tilgangen på CO<sub>2</sub> for mineral karbonatisering begrenset til mindre eller mer spredte kilder, noe som reduserer det samlede utbyggingspotensialet.

Realistisk potensial for mineral karbonatisering estimeres ved bruk av følgende formel:

$$\text{MC potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\text{Alkaline industrial residues available (kt)} \times \text{scaling factor (\%)}}{\text{Feedstock need (}\frac{\text{t}}{\text{tCO}_2}\text{)}}$$

Tabell 30 Parametere brukt i beregningene for realistisk potensial for mineral karbonatisering

| Parameter                                                | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tilgjengelige alkaliske industrielle restmaterialer (kt) | 76,8          | Data fra Miljødirektoratet                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Skaleringsfaktor (%)                                     | 61%           | 61% av tilgjengelige mengder alkaliske restmaterialer vil kreve mengde bio-CO <sub>2</sub> som tilsvarer 8% av totalt tilgjengelig bio-CO <sub>2</sub><br>8% er maksimal mengde bio-CO <sub>2</sub> tilgjengelig etter allokeringen til BECCS i det realistiske scenarioet |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )                       | 3,77          | Gjennomsnitt av innsamlede verdier. Sammensetningsavhengig og spesifikt for alkaliske industrielle restmaterialer. <sup>163</sup>                                                                                                                                          |
| MK potensial (ktCO <sub>2</sub> /år)                     | 12            | Beregnet                                                                                                                                                                                                                                                                   |

<sup>162</sup> Basert på Walker et al. (2024). Mineralization of alkaline waste for CCUS. Borges et al. (2025). Valorization of Cork Residues for Biomass Pellet Production. Biava et al. (2024). Accelerated Carbonation of Steel Slag and Their Valorisation in Cement Products: A Review

<sup>163</sup> Ibid.

## Tre i bygg

### Identifikasjon av den viktigste begrensende faktoren

Den begrensende faktoren for tre i bygg er det forventede behovet for trevirke i nybygg. Analysen er avgrenset til nye bygg oppført innenfor Oslo og inkluderer ikke rehabilitering eller oppgradering av eksisterende bygninger.

### Kartlegging av lokal ressurstilgjengelighet

Forventet årlig etterspørsel etter tre er estimert med utgangspunkt i byggeaktivitet, hvor ferdigstilt bruksareal (m<sup>2</sup>) er brukt som hovedindikator. Historiske data fra SSB for perioden 2021-2025 er benyttet for å beregne gjennomsnittlig årlig ferdigstilt areal, tilsvarende om lag 286 000 m<sup>2</sup> per år for boligbygg og 270 000 m<sup>2</sup> per år for andre typer bygg.<sup>164</sup>

Årlig etterspørsel etter tre er beregnet ved å kombinere:

- Totalt årlig ferdigstilt bruksareal, fordelt mellom boligbygg og øvrige bygg
- For boligbygg, observerte andeler av bygningstyper basert på nyere byggeaktivitet, kategorisert som «Single-Family Houses», «Multi-Family Houses» og «Apartment Blocks»
- Materialintensitetsfaktorer for tre (tonn per m<sup>2</sup>) for hver bygningstype<sup>164</sup>

Basert på dagens materialbruk gir dette et estimert treforbruk på ca. 30 kt tre per år i nye boligbygg og ca. 13 kt per år i øvrige bygg, tilsvarende et samlet treforbruk på rundt 43 kt per år knyttet til nybygg.

For å vurdere hvordan økt bruk av tre i byggebransjen kan påvirke etterspørselen frem mot 2040 er det inkludert to scenarier for trebruk, basert på publiserte estimater for økt anvendelse av tre i Oslo og Akershus<sup>165</sup>:

- Realistisk scenario: delvis overgang til mer trebasert bygging, tilsvarende 29% økning i trebruk i bygninger basert på scenario 2 i Nygaard et al. (2019)
- Maksimalt teknisk scenario:
  - en maksimal gjennomførbar økning i trebruk i bygninger, tilsvarende 44% økning basert på scenario 3 i Nygaard et al. (2019)
  - planlagt bygging av 3000 boliger per år<sup>166</sup>, tilsvarende omtrent 15% høyere byggeaktivitet enn gjennomsnittet for perioden 2021-2025

Dette gir et estimert samlet treforbruk på ca. 56-70 kt per år knyttet til nybygg, avhengig av scenario (henholdsvis realistisk og maksimalt potensial).

Vurderingen inkluderer ikke rehabiliteringsaktivitet eller karbonstrømmer knyttet til byggets endtlevetidsfase, og forutsetter at dagens byggemønstre gir et representativt grunnlag for fremtidig utvikling.

### Estimering av maksimalt teknisk potensial

Det maksimale tekniske CO<sub>2</sub>-fjerningspotensialet er basert på planlagt bygging av 3000 boliger per år, fremskrevet byggeaktivitet for andre bygg og tilhørende bruk av tre i bygninger i Oslo. Dette representerer et høyt (teoretisk) scenario, med en økning i trebruk på 44%, noe som gir et estimert treforbruk i bygninger på om lag 70 kt per år i 2040.

Det maksimale tekniske potensialet for tre i bygg estimeres ved bruk av følgende formel:

<sup>164</sup> Amini, S., Rousseau, L. S. & Hertwich, E. G. (2025). Material and energy use in Norway's residential building archetypes. *Journal of Industrial Ecology*, 29(4), 1121–1134.

<sup>165</sup> Nygaard, M., Bashevkin, I. E. S., Groba, U. & Sunter, C. (2019). Increased use of timber in new buildings in Oslo and Akershus: Potentials and GHG emission effects. *Frontiers in Built Environment*, 5, artikkel 131. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00131> (hentet april 2026).

<sup>166</sup> Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten (2023). Planbeskrivelse – Kommuneplanens arealdel – Oslo mot 2040.

$$\text{Wood in construction potential (ktCO}_2\text{/year)} = \frac{\text{Wood for new buildings (kt)}}{\text{Feedstock need (}\frac{\text{t}}{\text{tCO}_2}\text{)}}$$

Tabell 31 Parametere brukt i beregningene for maksimalt teknisk potensial for tre i bygg

| Parameter                                        | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tre til nye bygg (kt)                            | 69,6          | Basert på planlagt bygging av 3000 boliger (+15%) og fremskrevet byggeaktivitet for andre bygg.<br>44% økning i treforbruk i bygninger sammenlignet med dagens praksis <sup>167</sup> |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )               | 0,39          | Basert på en omregningsfaktor på 0,39 tonn tre (gran, furu og edelgran) per m <sup>3</sup> og CO <sub>2</sub> -innhold på 1 tCO <sub>2</sub> per m <sup>3</sup> . <sup>168</sup>      |
| Potensial for tre i bygg (ktCO <sub>2</sub> /år) | 178           | Beregnet                                                                                                                                                                              |

*Fra teknisk potensial til realistiske utbyggingsscenarioer*

Det realistiske scenariet forutsetter en moderat økning i bruk av tre i bygninger (+29 %), som reflekterer en delvis overgang til mer trebasert bygging. Dette gir et estimert trebehov på ca. 56 kt per år i 2040.

Tabell 32 Parametere brukt i beregningene for realistisk potensial for tre i bygg

| Parameter                                        | Anvendt verdi | Kilde / forklaring                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tre til nye bygg (kt)                            | 56            | Det forutsettes at veksten i antall nye bygg frem mot 2040 følger samme trend som observert de siste fem årene.<br>29% økning i trebruk sammenlignet med dagens praksis |
| Råstoffbehov (t/tCO <sub>2</sub> )               | 0,39          | Basert på en omregningsfaktor på 0,39 tonn tre (gran, furu og edelgran) per m <sup>3</sup> og et CO <sub>2</sub> -innhold på 1 tCO <sub>2</sub> per m <sup>3</sup> .    |
| Potensial for tre i bygg (ktCO <sub>2</sub> /år) | 143           | Beregnet                                                                                                                                                                |

<sup>167</sup> Fra Nygaard, M., Bashevkin, I. E. S., Groba, U., & Sunter, C. (2019). Increased use of timber in new buildings in Oslo and Akershus: Potentials and GHG emission effects.

<sup>168</sup> Fra French Ministry of Agriculture (2025). Building with Wood: Environmental and Economic Potential – Analysis n°211 og Canadian Wood (2026). Factsheet Spruce-Pine-Fir

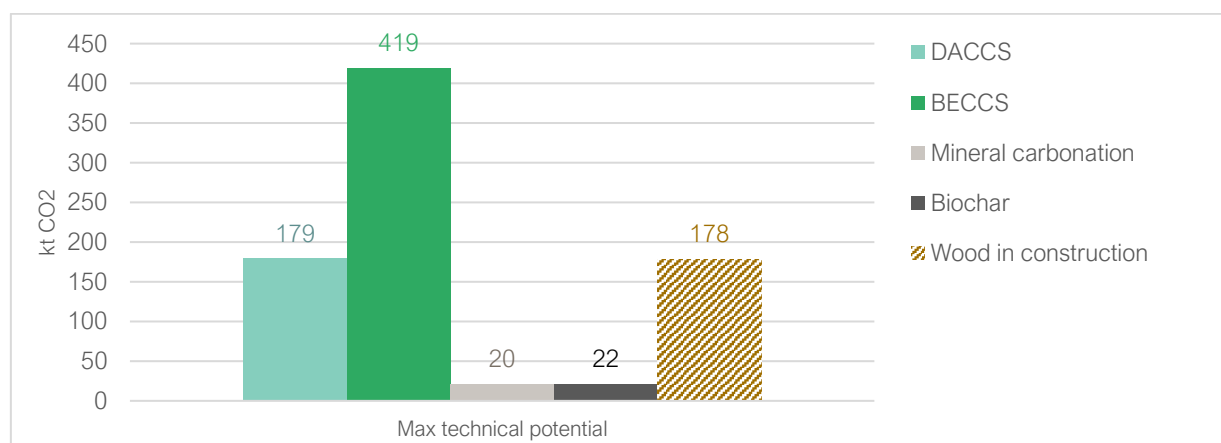
### 3.3 CDR-potensial i Oslo i 2040

#### Karbonfjerningspotensial

##### Maksimalt teknisk CDR-potensial

I 2040 varierer det estimerte CDR-potensialet i Oslo betydelig mellom teknologiene. Teknologiene med høyest potensial er BECCS med ca. 420 ktCO<sub>2</sub> per år, etterfulgt av DACCS og tre i bygg, som begge når omtrent 180 ktCO<sub>2</sub> per år. Mineral karbonatisering og biokull bidrar i mindre skala, med henholdsvis rundt 20 ktCO<sub>2</sub> per år og 22 ktCO<sub>2</sub> per år.

Figur 12 Maksimalt teknisk potensial



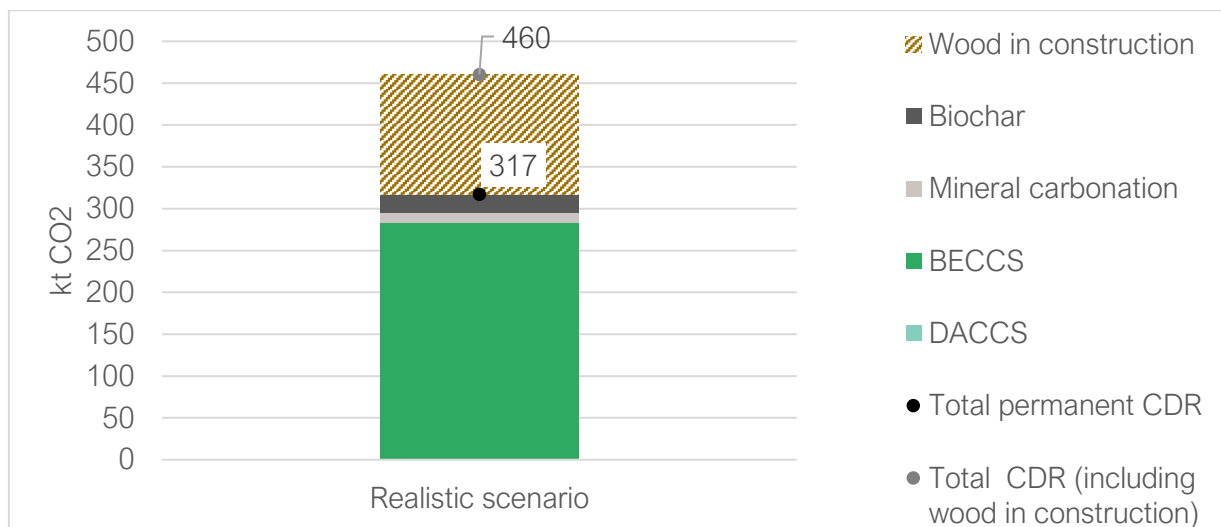
Potensialene per teknologi er presentert i Tabell 34 nedenfor. Disse verdiene representerer et maksimalt teknisk potensial. Disse potensialene kan dermed ikke summeres til et samlet totalnivå, ettersom beregningen forutsetter at 100% av den begrensende ressursen allokeres til hver teknologi individuelt, uten konkurranse eller samspill mellom ulike CDR-løsninger.

##### Realistisk CDR-potensial

Det realistiske CDR-potensialet for Oslo i 2040 bygger på en vurdering av ressurskonkurranse og tekniske og praktiske begrensninger for implementering. BECCS forblir den dominerende løsningen med over 280 ktCO<sub>2</sub> per år, etterfulgt av tre i bygg som bidrar med rundt 140 ktCO<sub>2</sub> per år. Biokull og mineral karbonatisering spiller fortsatt en mer begrenset rolle, med potensialer på henholdsvis om lag 22 ktCO<sub>2</sub> per år og 12 ktCO<sub>2</sub> per år. DACCS er ikke inkludert i det realistiske scenarioet og bidrar derfor ikke til det realistiske CDR-potensialet.

Samlet sett utgjør det totale CDR-potensialet i Oslo om lag 460 ktCO<sub>2</sub> per år, hvorav rundt 317 ktCO<sub>2</sub> per år tilsvarer permanente CDR-løsninger (Figur 13).

Figur 13 Realistiske scenariorisultater



Hovedresultatene per teknologi er oppsummert i Tabell 33:

Tabell 33 CDR-potensial i Oslo i 2040

| CDR teknologi                                           | Maksimalt teknisk potensial, kt CO <sub>2</sub> /år | Realistisk potensial, kt CO <sub>2</sub> /år | Viktige begrensende faktorer                                    |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| DACCS                                                   | 179                                                 | 0                                            | Tilgjengelig havneareal på Sjursøya, nettkapasitet og kostnader |
| BECCS                                                   | 419                                                 | 283                                          | Tilgjengelige bio-CO <sub>2</sub> -strømmer                     |
| Mineral karbonatisering                                 | 20                                                  | 12                                           | Alkaliske industrielle restmaterialer, bio-CO <sub>2</sub>      |
| Biokull                                                 | 22                                                  | 22                                           | Lokal tilgang på biomasse                                       |
| Tre i bygg                                              | 178                                                 | 143                                          | Mengde tre i nye bygg                                           |
| <b>Totalt CDR-potensial (ekskl. tre i bygg)</b>         | <b>Kan ikke summeres</b>                            | <b>317</b>                                   | <b>-</b>                                                        |
| <b>Totalt CDR-potensial (alle fem CDR-alternativer)</b> | <b>Kan ikke summeres</b>                            | <b>460</b>                                   | <b>-</b>                                                        |

Resultatene viser at mer enn 30% av CDR-potensialet stammer fra tre i bygg, som representerer ikke-permanent karbonlagring. Dette understreker viktigheten av å skille mellom totalt CDR-potensial og permanent karbonfjerning ved tolkning av resultatene.

### Ressursbehov

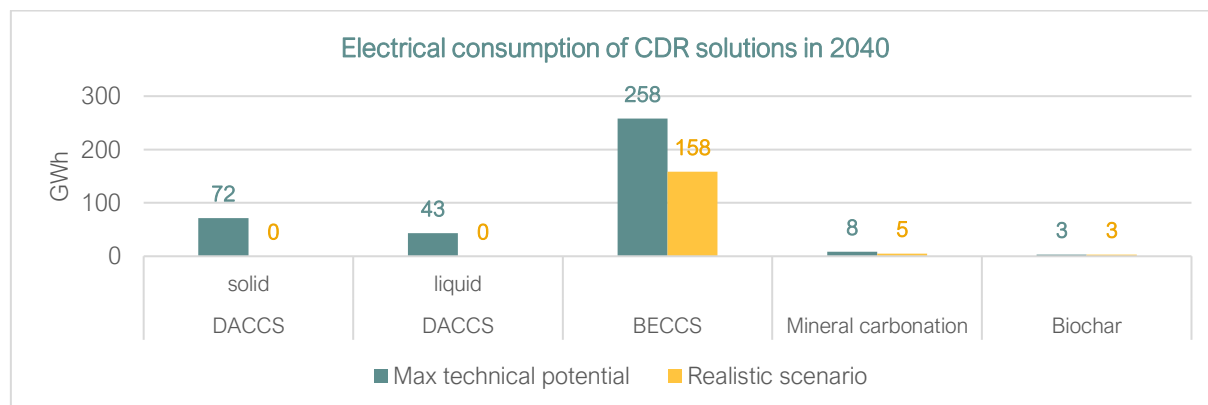
For hvert scenario kvantifiserer modellen også tilhørende ressursbehov, inkludert etterspørsel etter elektrisitet og varme, arealbruk, råstofforbruk og bruk av biogen CO<sub>2</sub>.

#### Energibehov

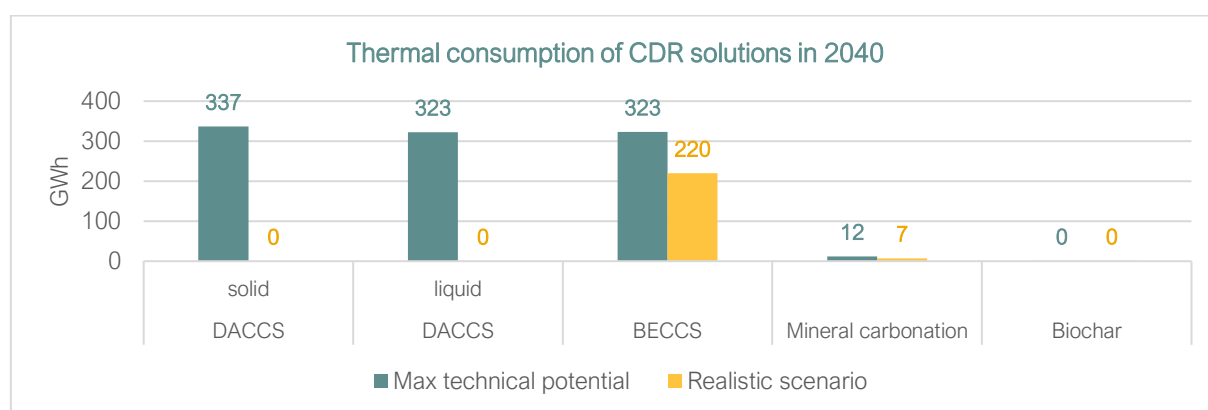
Elektrisitetsbehov er en sentral faktor for permanente CDR-løsninger. I det realistiske scenariet dominerer BECCS energiforbruket, med et behov på om lag 240 GWh per år, fordelt på omtrent 40% elektrisitet og

60% termisk energi (Figur 14 og 15). Mineral karbonatisering og biokull bidrar i betydelig mindre grad til det samlede energibehovet, noe som reflekterer deres lavere energiintensitet, med årlig forbruk på henholdsvis rundt 12 GWh og 3 GWh (Figur 14 og 15).

Figur 14 Elektrisitetsbehov knyttet til CDR implementering, 2040



Figur 15 Termisk energibehov knyttet til CDR, 2040



Boks 15 Effektbehov for ulike CDR løsninger i 2040

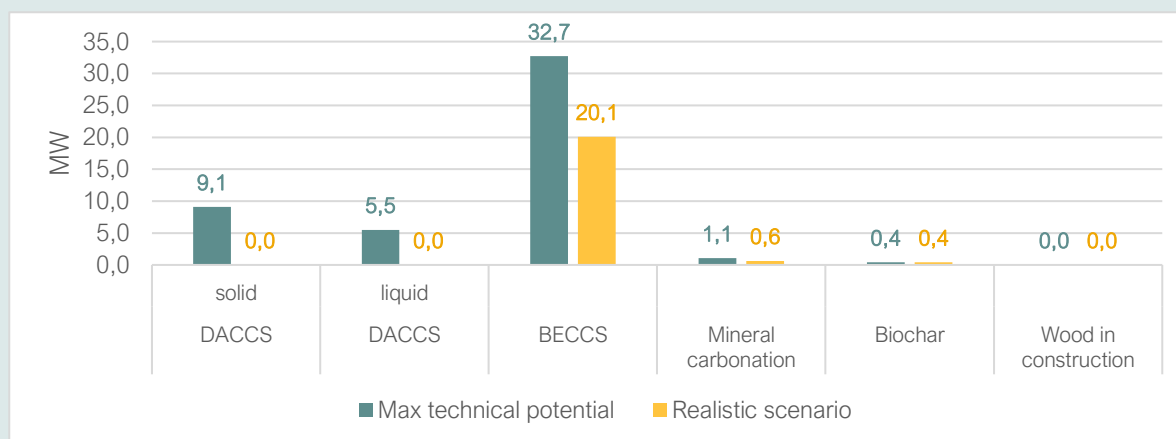
Effektbehov beregnes ved å omregne årlig elektrisitetsforbruk til tilsvarende installert kapasitet, basert på en lastfaktor på 90% (dvs. 7 884 driftstimer per år). Under denne forutsetningen representerer resultatene kontinuerlig effektkapasitet (i MW) som kreves for å forsyne hver CDR-løsning.

I det maksimale tekniske scenariet er det BECCS, som også gir det høyeste tekniske fjerningspotensialet (419 kt/år), som står for det største effektbehovet, med lag 30 MW. Dette etterfølges av DACCS (fast og flytende) med henholdsvis omtrent 9 MW og 6 MW (Figur 16).

I det realistiske scenariet reduseres effektbehovet betydelig som følge av lavere utbyggingsnivåer og utelatelsen av DACCS. BECCS krever om lag 14,5 MW, mens mineral karbonatisering og biokull krever under 1 MW hver (Figur 16).

Resultatene viser at BECCS, som representerer det største fjerningspotensialet, også har det høyeste behovet for elektrisk kapasitet blant CDR-løsninger i Oslo, samtidig som den samlede belastningen på energisystemet reduseres betydelig i det realistiske scenarioet.

Figur 16 Effektbehov i Oslo i 2040 per CDR-løsning



Effektbehovet for hvert BECCS-anlegg er beregnet i Tabell 23.

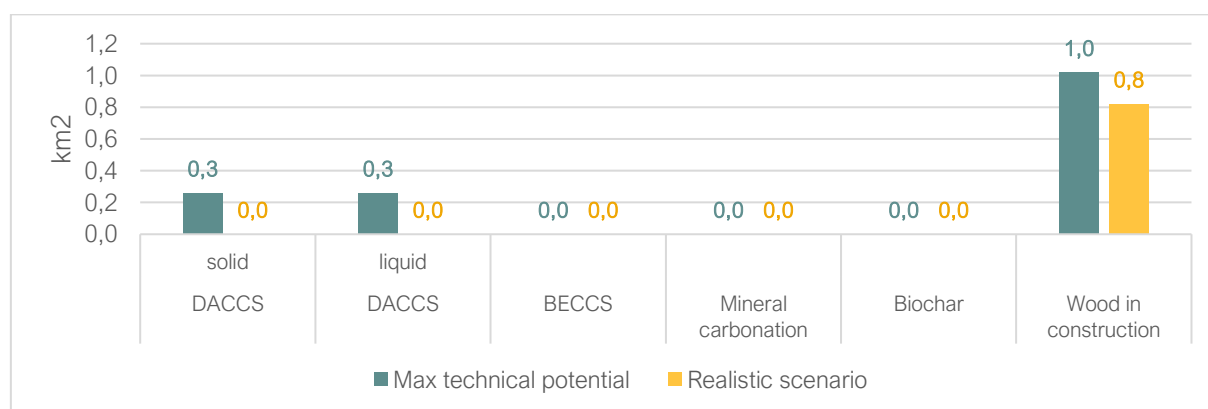
### Arealbehov

Arealtilgang spiller en begrenset rolle i vurderingen for de fleste CDR-metodene, med unntak av DACCS, hvor det er en begrensende faktor i det maksimalt tekniske scenariet. Areal identifiseres som den viktigste begrensningen for DACCS på grunn av behovet for å lokalisere fangstanlegg nær havnebasert CO<sub>2</sub>-transport- og lagringsinfrastruktur.

Ettersom det ikke forutsettes implementering av DACCS i det realistiske scenariet, medfører dette ingen ytterligere etterspørsel etter areal. De øvrige CDR-løsningene som vurderes i det realistiske scenariet (BECCS, biokull og mineral karbonatisering) er basert på eksisterende industrielle anlegg og avfalls- eller reststrømmer, og krever derfor ikke dedikert arealallokering innenfor Oslo.

Arealbehov er kun relevant for bruk av tre i bygg, som avhenger av forventet nybygging i byen, men dette anses ikke som en betydelig begrensning, ettersom byggevolumene er basert på planlagte byutviklingsprognoser.

Figur 17 Arealbehov knyttet til CDR implementering, 2040



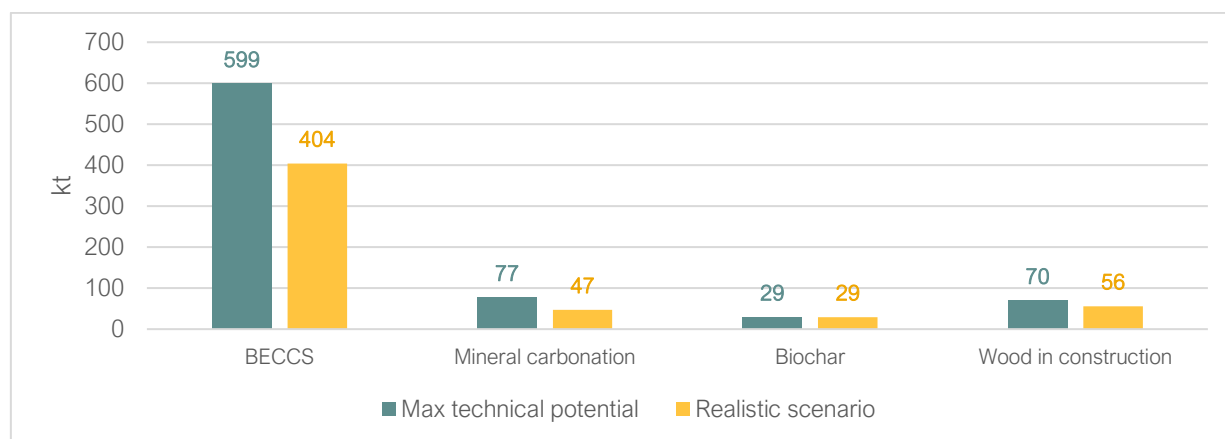
### Råstoffbehov

Råstoffbehovet varierer betydelig mellom ulike CDR-løsninger og spiller en sentral rolle i resultatene. BECCS er blant de største forbrukerne av råstoff, med et behov på rundt 600 kt biomasse per år i det maksimale tekniske scenarioet og om lag 400 kt per år i det realistiske scenarioet (Figur 18).

Utbredelsen av biokull er begrenset av lav tilgjengelighet på egnede lokale biomasseråstoffer (omtrent 29 kt per år), noe som setter en øvre grense for både maksimalt teknisk og realistisk utbyggingsnivå. Mineral karbonatisering er også begrenset av tilgangen på alkaliske industrielle restmaterialer generert i Oslo (77 kt per år), hovedsakelig bygg- og rivningsavfall.

Bruk av tre i bygg krever betydelige mengder trevirke direkte knyttet til nybyggingsaktivitet, tilsvarende nær 70 kt tre per år i det maksimale tekniske scenarioet og rundt 60 kt trevirke i det realistiske scenarioet.

Figur 18 Råstoffbehov knyttet til CDR implementering, 2040



### Biogen CO<sub>2</sub>

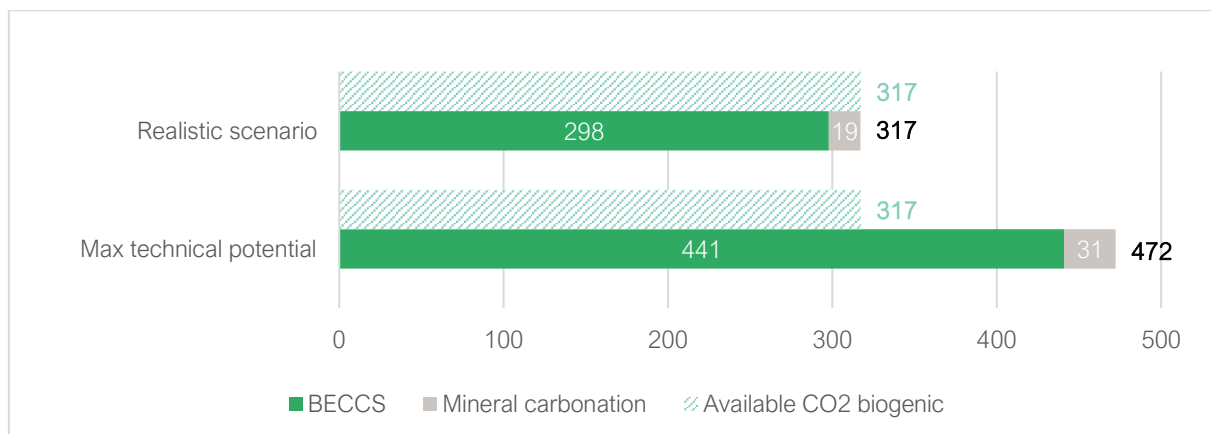
Biogen CO<sub>2</sub> fremstår som en av de mest kritiske ressursene på tvers av permanente CDR-løsninger i det realistiske scenarioet. BECCS er den største forbrukeren av biogen CO<sub>2</sub>, mens mineral karbonatisering også krever tilførsel av bio-CO<sub>2</sub> til karbonatiseringsprosessen.

I det maksimale tekniske scenarioet forutsettes ingen allokering mellom CDR-løsninger. Dette resulterer i et samlet behov for biogen CO<sub>2</sub> på om lag 472 kt per år, som overstiger den tilgjengelige mengden i Oslo på rundt 317 kt per år (Figur 19).

I det realistiske scenarioet begrenses derimot utbyggingen av BECCS til store, konsentrerte punktkilder, noe som reduserer det samlede behovet for biogen CO<sub>2</sub>. Under disse forutsetningene allokeres omtrent 215 kt bio-CO<sub>2</sub> til BECCS. Dette innebærer at kun rundt 19 kt er tilgjengelig for mineral karbonatisering. Denne mengden er tilstrekkelig til å utnytte om lag 60% av tilgjengelig alkalisk avfall, for at samlet etterspørsel etter bio-CO<sub>2</sub> skal holde seg innenfor tilgjengelige volumer (Figur 19).

Biogen CO<sub>2</sub> utgjør dermed fortsatt en sentral flaskehals for utrulling av permanente CDR-løsninger i Oslo, og understreker behovet for prioritering av ressursen mellom konkurrerende anvendelser.

Figur 19 Biogent CO2-behov knyttet til CDR, 2040



## 4 Konklusjon

### *Oppsummering av hovedfunn*

Oslo har et reelt, men ressursbegrenset CDR-potensial innenfor sine kommunegrenser i 2040. Byens urbane karakter begrenser mulighetene for arealkrevende og havbaserte tilnærminger, men eksisterende infrastruktur for avfall, energi og CO<sub>2</sub>, særlig BECCS-prosjektet på Klemetsrud og CO<sub>2</sub>-terminalen på Sjørsøya, kan gi et solid grunnlag for permanent CDR i skala.

Under realistiske implementeringsscenarier utgjør totalt permanent CDR i Oslo i 2040 omtrent 317 ktCO<sub>2</sub>/år, dominert av BECCS ved Klemetsrud. Bruk av tre i bygg gir betydelig midlertidig lagring (ca. 140-170 ktCO<sub>2</sub>/år), men dette bør ikke regnes mot et mål for permanent CDR.

Viktige begrensninger for CDR implementering inkluderer:

- tilgjengelighet av biogen CO<sub>2</sub>
- tilgang på biomasseråstoff
- nettkapasitet for DACCS
- begrenset areal for nye storskala installasjoner.

### *Fastsettelse av CDR-mål for 2040*

Basert på funnene anbefaler studien følgende målstruktur for 2040:

1. Mål for permanent CDR: ca. 200-317 ktCO<sub>2</sub>/år i permanent geologisk eller mineral lagring. Den nedre målgrensen forankres i BECCS ved Klemetsrud, supplert med mineral karbonatisering og biokull. Dersom BECCS ved Haraldrud (begge anleggene) realiseres, kan CDR-målet økes mot den øvre grensen på 317 ktCO<sub>2</sub>/år.
2. Komplementær midlertidig lagring: ca. 140-170 ktCO<sub>2</sub>/år i tre brukt i bygg, rapportert separat og ikke medregnet i det permanente målet. Dette kan forsterkes av en tydelig plan for end-of-life håndtering av trevirke i bygg (biokull eller BECCS).

### *Perspektiv etter 2040*

Denne studien fokuserer på tidshorisonten 2040. Flere CDR-teknologier som er ekskludert fra eller har begrenset betydning i analysen for 2040, kan bli mer relevante på lengre sikt. Kostnadene for DACCS forventes å falle og kan nærme seg konkurransedyktige nivåer innen midten av 2030-årene; DOCCS-teknologi er under utvikling og kan bli relevant for kystnær implementering; forskning på økt alkalinitet i havet utvikler seg internasjonalt. Oslo kommune bør følge utviklingen innen disse teknologiene og oppdatere denne vurderingen som en del av revisjonen av klimastrategien etter 2040.

## 5 Litteraturliste

Ahmed, T., et al. (2023). *Biochar as a tool for the improvement of soil and environment*. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1324533. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324533> (hentet april 2026).

American Chemical Society (2022). *Optimal design and operation of solid sorbent direct air capture processes at varying ambient conditions*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Tilgjengelig på: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.iecr.2c00681> (hentet april 2026).

Amini, S., Rousseau, L. S. & Hertwich, E. G. (2025). *Material and energy use in Norway's residential building archetypes*. *Journal of Industrial Ecology*, 29(4), 1121–1134.

Biocrete (u.å.). *Carbon-negative concrete using biochar*. Tilgjengelig på: <https://www.biocrete.no/> (hentet april 2026).

Bui, et al. (2020). *Demonstrating flexible operation of the Technology Centre Mongstad (TCM) CO2 capture plant*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583619303652> (hentet april 2026).

Captura (2024). *Innovations and cost reductions in DOC*. Tilgjengelig på: <https://capturacorp.com/wp-content/uploads/2024/08/DOC-innovations-and-cost-reductions.pdf> (hentet april 2026).

Captura. (2023). *Equinor and Captura partner to develop ocean carbon removal* <https://capturacorp.com/equinor-and-captura-partner-to-develop-ocean-carbon-removal/>

Carbon 8 Systems (2020). *Direct Flue Gas capture of CO2 and the production of aggregate for the construction industry*. <https://www.co2value.eu/wp-content/uploads/2021/02/2020-12-15-Carbon-8-Systems-Mineralization-Workshop-CO2-Value-Europe.pdf>

Carbon Capture Journal (2020). *Carbon8 Systems commercially deploys CCUS systems at Vicat cement plant*. <https://www.carboncapturejournal.com/ViewNews.aspx?NewsID=4376&>

Carbon Centric (u.å.). *Rakkestad CCUS (prosjekt støttet av Enova)*. Tilgjengelig på: <https://www.carboncentric.no/rakkestad-ccus> (hentet april 2026).

Carbon Direct (u.å.). *Marine carbon dioxide removal: What it is and how it works*. Tilgjengelig på: <https://www.carbon-direct.com/insights/marine-carbon-dioxide-removal-what-it-is-and-how-it-works> (hentet april 2026).

Carbon Gap (u.å.). *EU Emissions Trading System*. Tilgjengelig på: <https://tracker.carbongap.org/policy/eu-emissions-trading-system/> (hentet april 2026).

Carbon Limits (2024). *Developing CDR at scale and speed in Norway*.

Carrejo, E., Ortega, R., Lan, K., Sanchez, D. L., Park, S. & Sagues, W. J. (2025). *Quantifying atmospheric carbon removal at pulp and paper mills: A life cycle assessment across system boundaries*. Tilgjengelig på: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s43979-025-00156-5.pdf> (hentet april 2026).

CCS Norway (u.å.). *Fangst hos Hafslund Celsio*. Tilgjengelig på: <https://ccsnorway.com/no/fangst-hafslund-celsio/> (hentet april 2026).

Cherubini, F., Hunsberger, C., Junginger, M., Lassaletta, L., Ramachandran Nair, P. K., Røyne, F. & Strømman, A. H. (2012). *Carbon accounting of forest bioenergy: Conclusions and recommendations from a critical literature review*. European Commission Joint Research Centre. Tilgjengelig på: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC70663> (hentet april 2026).

City of Oslo (2025). *Oslo European Green Capital: 5-year report*.

Climeworks (2023). *Mammoth: what it takes to manufacture direct air capture plants at new scales*. Tilgjengelig på: <https://climeworks.com/news/climeworks-mammoth-construction-update-mar23> (hentet april 2026).

Climeworks (u.å.). *Orca: the first large-scale plant*. Tilgjengelig på: <https://climeworks.com/plant-orca> (hentet april 2026).

COWI (2026). *Data fra COWI*.

Das, S. & Mangwani, N. (2015). *Ocean acidification and marine microorganisms: Responses and consequences*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0078323415000925> (hentet april 2026).

ENGIE Innovation (2024). *Emerging sustainable technologies 2024*. Tilgjengelig på: <https://innovation.engie.com/en/sustainable-technologies-download/add/2024> (hentet april 2026).

Equatic (u.å.), current projects, <https://www.equatic.tech/the-equatic-difference#current-projects>

European Commission (u.å.). *Carbon removals and carbon farming (CRCF regulation)*. Tilgjengelig på: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming/carbon-removals-and-carbon-farming-crcf-regulation\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming/carbon-removals-and-carbon-farming-crcf-regulation_en) (hentet april 2026).

European Commission (u.å.). *Cross laminated timber building in Norway*. Tilgjengelig på: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/case-studies/cross-laminated-timber-building-norway> (hentet april 2026).

European Commission (u.å.). *Technology Readiness Levels (TRL) – Horizon Europe*. Tilgjengelig på: <https://www.horizon-europe.gouv.fr/l-echelle-trl-38806> (hentet april 2026).

European Parliament (2026). *Carbon dioxide removal: Policy framework (EPRS Briefing 782615)*. Tilgjengelig på: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2026/782615/EPRS\\_BRI\(2026\)782615\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2026/782615/EPRS_BRI(2026)782615_EN.pdf) (hentet april 2026).

European Parliament (2026). *The role of Direct Air Capture technologies in the EU's decarbonisation effort*. Tilgjengelig på: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/772474/ECTI\\_STU\(2025\)772474\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2025/772474/ECTI_STU(2025)772474_EN.pdf) (hentet april 2026).

French Ministry of Agriculture (2025). *Building with wood: Environmental and economic potential (Analysis No. 211)*. Tilgjengelig på: <https://agriculture.gouv.fr/building-wood-environmental-and-economic-potential-analysis-ndeg211> (hentet april 2026).

Fuss, S., et al. (2018). *Negative emissions – Part 2: Costs, potentials and side effects*. *Environmental Research Letters*. Tilgjengelig på: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f/pdf> (hentet april 2026).

Godlewska, P., Rossi, R., Ravenni, G., Frandsen, F. J., Berntsen, L. R., & Stelte, W. (2025). *Investigation of environmental issues related to the production and use of biochar: Literature review*. Technical University of Denmark. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.11581/834dbe99-172f-4d6f-86d8-be5bc7038d39> (hentet april 2026).

GEOMAR (u.å.). *Ocean alkalinity enhancement*. Tilgjengelig på: <https://www.geomar.de/en/discover/ocean-for-climate-protection/carbon-uptake-in-the-ocean/ocean-alkalinity-enhancement> (hentet april 2026).

Guo, J. A., Strzepek, R. F., Yuan, Z., Swadling, K. M., Townsend, A. T., Achterberg, E. P., Browning, T. J. & Bach, L. T. (2025). *Effects of ocean alkalinity enhancement on plankton in the Equatorial Pacific*. *Communications Earth & Environment*. Tilgjengelig på: <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02248-7> (hentet april 2026).

Ho, D. T., Bopp, L., Palter, J. B. & Long, M. (2023). *Monitoring, reporting, and verification for ocean alkalinity enhancement. State of the Planet, 2* (OAE2023), 1–12. <https://doi.org/10.5194/sp-2-oae2023-12-2023>. Tilgjengelig på:

[https://www.researchgate.net/publication/388279087\\_Monitoring\\_reporting\\_and\\_verification\\_for\\_ocean\\_alkalinity\\_enhancement](https://www.researchgate.net/publication/388279087_Monitoring_reporting_and_verification_for_ocean_alkalinity_enhancement) (hentet april 2026).

IEA (u.å.). *Direct Air Capture*. Tilgjengelig på: <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/direct-air-capture> (hentet april 2026).

IEAGHG (2024). *Measurement, reporting and verification (MRV) and accounting for carbon dioxide removal (CDR) in the context of both project-based approaches and national greenhouse gas inventories (NGHGI)*. Tilgjengelig på: <https://ieaghg.org/publications/2024-09%20Measurement,%20reporting%20and%20verification%20of%20CDR.pdf> (hentet april 2026).

IEAGHG (u.å.). *Techno-economic assessment of small-scale carbon capture for industrial and power systems*. Tilgjengelig på: <https://ieaghg.org/publications/techno-economic-assessment-of-small-scale-carbon-capture-for-industrial-and-power-systems/> (hentet april 2026).

Imperial College London (2024). *Deployment potential of direct air capture and BECCS technologies – considerations for MRV*. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/2407\\_CDR\\_CCUS/02\\_Mai\\_Bui.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/2407_CDR_CCUS/02_Mai_Bui.pdf) (hentet april 2026).

Inherit Carbon Solutions (u.å.). *Inherit enters operation with world's first carbon removal project from biogas in Norway*. Tilgjengelig på: <https://www.inheritcarbonsolutions.com/news/inherit-enters-operation-with-worlds-first-carbon-removal-project-from-biogas-in-norway> (hentet april 2026).

IPCC (2005). *Special report on carbon dioxide capture and storage – Chapter 6*. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter6-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter6-1.pdf) (hentet april 2026).

IPCC (2005). *Special report on carbon dioxide capture and storage – Chapter 7*. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs\\_chapter7-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srccs_chapter7-1.pdf) (hentet april 2026).

IPCC (2022). *AR6 Working Group III – Chapter 12: Cross-sectoral perspectives*. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter12.pdf) (hentet april 2026).

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Tilgjengelig på: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (hentet april 2026).

IPCC (2022). *IPCC AR6 WGIII Factsheet: Carbon dioxide removal (CDR)*. Tilgjengelig på: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Factsheet\\_CDR.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGIII_Factsheet_CDR.pdf) (hentet april 2026).

Kartverket (2026). *Fakta om Norge: Størrelsen på landet*. Tilgjengelig på: <https://kartverket.no/til-lands/fakta-om-norge/storleiken-pa-landet> (hentet april 2026).

Kashani, A., Hameed, R., Khondoker, M. T. H. & Li, W. (2025). *Carbon utilization for low-carbon concrete: Prospects for carbonated steel slag and recycled concrete*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344925005750> (hentet april 2026).

Li, S. (2024). *Reviewing air pollutants during pyrolysis of solid waste*. *Sustainability*, 16(3), 1169. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3390/su16031169> (hentet april 2026).

López, L. N., Sjølie, H. K., Nabhani, A. & Aguilar, F. X. (2024). *Impacts of biodiversity and carbon policies on the management of Norwegian forest and its ecosystem services*. *Silva Fennica*, 58(4), artikkel 23067. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.14214/sf.23067> (hentet april 2026).

Glaser, B. & Asomah, A. A. A. (2022). Plant growth and chemical properties of commercial biochar- versus peat-based growing media. *Horticulturae*, 8(4), 339. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/4/339> (hentet april 2026).

Mertens, et al. (2024). *Evaluating carbon removal: Integrating technical potential with environmental, social, governance criteria, and sequestration permanence*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224026439> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (2024). *Virkemidler for industriell karbonfjerning*. Tilgjengelig på: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2024/mars-2024/virkemidler-for-industriell-karbonfjerning/> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Carbon dioxide – biomass*. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Emission/Carbon-dioxide-biomass/?ComponentType=utslipp&ComponentPageID=179> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Inorganic material (waste component). Norske utslipp*. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/en/Components/Waste/Uorganisk-materiale/?ComponentType=avfall&WasteComponentPageID=339> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Norske utslipp – Forsiden (sektoroversikt)*. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/no/Forsiden/?SectorID=90> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Utslippsrapport for virksomhet (PDF-dokument)*. Tilgjengelig på:

<https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=818055&documentType=T&companyID=6081&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=813329&documentType=T&companyID=5435&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=876023&documentType=T&companyID=5422&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=645340&documentType=T&companyID=5453&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

<https://www.norskeutslipp.no/WebHandlers/PDFDocumentHandler.ashx?documentID=645342&documentType=T&companyID=21735&aar=0&epslanguage=no> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Virksomheter med utslippstillatelse (sektoroversikt)*. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/no/Listesider/Virksomheter-med-utslippstillatelse/?SectorID=91> (hentet april 2026).

Miljødirektoratet (u.å.). *Virksomheter med utslippstillatelse*. Tilgjengelig på: <https://www.norskeutslipp.no/no/Listesider/Virksomheter-med-utslippstillatelse/?f=3&SectorID=90> (hentet april 2026).

MIT (u.å.). *Ocean alkalinity enhancement*. Tilgjengelig på: <https://climate.mit.edu/explainers/ocean-alkalinity-enhancement> (hentet april 2026).

Moelven (u.å.). *Mjøstårnet*. Tilgjengelig på: <https://www.moelven.com/mjostarnet/> (hentet april 2026).

Mühlbauer, M., et al. (2025). *Assessment of technologies and economics for carbon dioxide removal from a portfolio perspective*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583624002408> (hentet april 2026).

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022). *A research strategy for ocean-based carbon dioxide removal and sequestration*. Tilgjengelig på: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26278/a-research-strategy-for-ocean-based-carbon-dioxide-removal-and-sequestration> (hentet april 2026).

NHO (u.å.) *Kraftløftet Oslo og Akershu regional kunnskapsgrunnlag*. Tilgjengelig på: <https://www.nho.no/contentassets/c8e0357c8e584daab2ea6e1a53a1ee2d/kraftloftet-oslo-og-akershus---regionalt-kunnskapsgrunnlag--endelig.pdf> (hentet april 2026).

NIBIO (u.å.). *Biochar stable for centuries, but not forever*. Tilgjengelig på: <https://www.nibio.no/en/news/biochar-stable-for-centuries-but-not-forever> (hentet april 2026).

NIVA (2025). *Ålegrass on the move: Oslo receives restoration assistance from neighboring municipalities*. Tilgjengelig på: <https://www.niva.no/nyheter/alegras-pa-flyttefot-oslo-far-restaureringshjelp-fra-nabokommuner> (hentet april 2026).

NOAA Climate.gov (2025). *Climate change: Atmospheric carbon dioxide*. Tilgjengelig på: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (hentet mai 2026).

Nordic Investment Bank (u.å.). *Vestfjorden Avløpsselskap (VEAS)*. Tilgjengelig på: <https://www.nib.int/loan/vestfjorden-avlopsselskap-veas-22605> (hentet april 2026).

Norsk Energi (2013). *Norsk Energi, tidsskrift 2-2013*. Tilgjengelig på: [https://energi.no/images/tidsskrift/Norsk\\_Energi\\_2-2013\\_L3.pdf](https://energi.no/images/tidsskrift/Norsk_Energi_2-2013_L3.pdf) (hentet april 2026).

Nygaard, M., Bashevkin, I. E. S., Groba, U. & Sunter, C. (2019). *Increased use of timber in new buildings in Oslo and Akershus: Potentials and GHG emission effects*. *Frontiers in Built Environment*, 5, artikkel 131. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00131> (hentet april 2026).

Ocean Visions (u.å.). *Ocean Visions website*. Tilgjengelig på: <https://oceanvisions.org/> (hentet april 2026).

Oslo byleksikon (u.å.). *Oslofjorden*. Tilgjengelig på: <https://oslobyleksikon.no/side/Oslofjorden> (hentet april 2026).

Oslo kommune (u.å.). *Byrådet anbefaler salg av Romerike biogassanlegg*. Tilgjengelig på: <https://aktuelt.oslo.kommune.no/byradet-anbefaler-salg-av-romerike-biogassanlegg> (hentet april 2026).

Oslo kommune (u.å.). *Forbruk og avfall*. Tilgjengelig på: <https://www.oslo.kommune.no/statistikk/miljostatus/forbruk-og-avfall/> (hentet april 2026).

Oslo kommune (u.å.). *Klimastrategi for Oslo mot 2030*. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/rapport/klimastrategi-for-oslo-mot-2030/> (hentet april 2026).

Oslo kommune (u.å.). *Ny klimastrategi for Oslo: Nå starter arbeidet mot 2040*. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/ny-klimastrategi-for-oslo-na-starter-arbeidet-mot-2040/> (hentet april 2026).

Oslo kommune (u.å.). *Utslippsfri og ressurseffektiv avfallshåndtering i Oslo*. Tilgjengelig på: <https://www.klimaoslo.no/rapport/utslippsfri-og-ressurseffektiv-avfallshandtering-i-oslo/> (hentet april 2026).

Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten (2023). *Planbeskrivelse – Kommuneplanens arealdel – Oslo mot 2040*.

Oslo kommune, Plan- og bygningsetaten (2023). *Temakart T1 byggeområder: Kommuneplanens arealdel Oslo mot 2040 [kart]*. Tilgjengelig på:

<https://innsyn.pbe.oslo.kommune.no/saksinnsyn/showfile.asp?jno=2023087821&fileid=10881389> (hentet april 2026).

Ozkan, M. (2025). *Atmospheric alchemy: The energy and cost dynamics of direct air carbon capture*. *MRS Energy & Sustainability*, 12, 46–61. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1557/s43581-024-00091-5> (hentet april 2026).

PEFC (u.å.). *PEFC website*. Tilgjengelig på: <https://pefc.no/> (hentet april 2026).

Postweiler, P., et al. (2026). *Enhancing DACCS flexibility: Evaluating hardware modifications for cost-effective carbon dioxide removal*.

Puro Earth (2025). *Biochar Methodology for CO2 Removal*. Tilgjengelig på: <https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Puro%20Biochar%20Methodology%20-%20Edition%202025%20-%20Approved%20Version%20-%20Pending%20Copy%20Edit.pdf> (hentet april 2026).

Puro.earth (u.å.). *Scaling biochar with integrity and innovation*. Tilgjengelig på: <https://puro.earth/our-blog/362-scaling-biochar-with-integrity-and-innovation> (hentet april 2026).

Qi, Y., et al. (2026). *Soil health response to biochar combined with other amendments: A review*. *Biochar*, 7, 34. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1007/s42773-025-00531-6> (hentet april 2026).

Regjeringen (2025). *Use of wood*. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/en/topics/food-fisheries-and-agriculture/skogbruk/innsikt/bruk-av-tre/id2009518/> (hentet april 2026).

Regjeringen (u.å.). *Act relating to forestry (Forestry Act)*. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/en/documents/Act-relating-to-forestry-Forestry-Act/id87139/> (hentet april 2026).

Royal Society of Chemistry (2022). *A comparative analysis of the efficiency, timing, and permanence of CO2 removal pathways*. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d2ee01021f> (hentet april 2026).

Sanchez, et al. (2025). *Carbon removal efficiency and energy requirement of engineered carbon removal technologies*. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2025/su/d4su00552j> (hentet april 2026).

Sanna, A., et al. (2014). *A review of mineral carbonation technologies to sequester CO2*. *Chemical Society Reviews*. Tilgjengelig på: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/cs/c4cs00035h> (hentet april 2026).

Seanite Construction (2025). *What is mass timber? Engineered wood, CLT and glulam products, and the future of sustainable building*. Tilgjengelig på: <https://seanoteff.com/mass-timber/> (hentet april 2026).

Sibelco (u.å.). *The world's largest commercial olivine deposit*. Tilgjengelig på: <https://www.sibelco.com/en/150-years/aheim> (hentet april 2026).

Soletair Power (u.å.). *Building-integrated DAC unit in Aarhus*. Tilgjengelig på: <https://www.soletairpower.fi/soletair-power-bicc-on-site-unit-aarhus-denmark/> (hentet april 2026).

SSB (2024). *Regional population projections*. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/en/befolkning/befolkningsframskrivinger/statistikk/regionale-befolkningsframskrivinger> (hentet april 2026).

St1 (2025, 29. april). *St1 secures agreement for infrastructure in major CO2 capture and storage project*. Tilgjengelig på: <https://st1.com/article/st1-secures-agreement-for-infrastructure-in-major-co2-capture-and-storage> (hentet april 2026).

St1 (2026). *St1 inngår avtale om infrastruktur i stort CO2-fangst- og lagringsprosjekt*. Tilgjengelig på: <https://st1.no/artikkel/St1-innngaar-avtale-om-infrastruktur-i-stort-CO2-fangst-og-lagringsprosjekt> (hentet april 2026).

Statistics Norway (2025, 18. august). 09594: *Land use and land cover (km²), by year, region, contents and area classification*. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/en/statbank/table/09594> (hentet april 2026).

Statsforvalteren i Oslo og Viken (2023). *Egenkontrollrapporter 2023 – Oslo kommune*. Tilgjengelig på: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/fm-oslo-og-viken/miljo-og-klima/forurensning/egenkontrollrapporter-2023/oslo-kommune.pdf> (hentet april 2026).

Suba, P. V., Gopalakrishnan, A., Radovic, J., Tutolo, B. M., Larter, S., Karan, K. & Thangadurai, V. (2023). *Electrochemical ocean alkalinity enhancement using a calcium ion battery*. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583623001822> (hentet april 2026).

THEMA Consulting Group (2024). *Fjernvarme og områdekjøling: Barrierer og virkemidler (THEMA Report 2024-08)*.

Timber Finance Initiative (u.å.). *Mass timber carbon removals*. Tilgjengelig på: <https://timberfinance.ch/en/carbon/mass-timber-carbon-removals/> (hentet april 2026).

UN-DO (u.å.). *Farmers*. Tilgjengelig på: <https://un-do.com/farmers/> (hentet april 2026).

University of Oslo (u.å.). *VICCO – VISTA Centre for CO2 Storage in Volcanic-Sedimentary Systems*. Tilgjengelig på: <https://www.mn.uio.no/geo/english/research/projects/vicco/> (hentet april 2026).

VEAS (u.å.). *VEAS*. Tilgjengelig på: <https://veas.nu/> (hentet april 2026).

World Resources Institute (2024). *Measurement, Reporting and Verification of Carbon Removal*. Tilgjengelig på: <https://www.wri.org/technical-perspectives/measurement-reporting-verification-of-carbon-removal> (hentet april 2026).

World Resources Institute (WRI) (2022). *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC) – Executive summary*. Tilgjengelig på: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GPC\\_Executive\\_Summary\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GPC_Executive_Summary_1.pdf) (hentet april 2026).

Yang, L. & Wu, X. (2024). *Net-zero carbon configuration approach for direct air carbon capture based integrated energy system considering dynamic characteristics of CO2 adsorption and desorption*. *Applied Energy*, 358. Tilgjengelig på: <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v358y2024ics0306261923019724.html> (hentet april 2026).

## Vedlegg 1 – Oversikt over CDR-løsninger

Figur 20 Oversikt over teknologiske og ressursmessige krav per CDR-teknologi

|                                                     | Biochar                                                                                                       | BECCS                                                                                                            | DACCS                                                                                                                | Wood in construction                                                                      | Mineral carbonation                                                                                              | Enhanced Weathering                                                                                                      | Ocean Alkalinity                                                                                                   | Blue Carbon                                                                                 | DOCCS                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Description</b>                                  | Conversion of biomass into stable carbon-rich char for soil application                                       | Biomass-based energy production with carbon capture and storage.                                                 | Direct removal of CO <sub>2</sub> from ambient air with permanent geological storage                                 | Carbon storage in harvested wood products used in buildings                               | Reaction of CO <sub>2</sub> with alkaline minerals or wastes to form stable solid carbonates                     | Application of finely ground alkaline minerals to accelerate natural CO <sub>2</sub> uptake through weathering reactions | Addition of alkaline substances to seawater to enhance CO <sub>2</sub> uptake                                      | Protection and restoration of coastal ecosystems to store biogenic carbon                   | Removal of CO <sub>2</sub> from seawater with permanent geological storage                               |
| <b>Permanence years</b>                             | <br>100-1000                 | <br>>1000                       | <br>>1000                           | <br><100 | <br>>1000                     | <br>>1000                             | <br>>1000                       | <br><100 | <br>>1000             |
| <b>Reversal risk</b>                                | 70%                                                                                                           | Low, leakage risks                                                                                               | Low, leakage risks                                                                                                   | High                                                                                      | No risk                                                                                                          | No risk                                                                                                                  | No risk                                                                                                            | High                                                                                        | Low, leakage risks                                                                                       |
| <b>TRL</b>                                          | <br>6-7                      | <br>5-9                         | <br>7-9                             | <br>9    | <br>7-9                       | <br>3-4                               | <br>1-2                         | <br>2-6  | <br>2                 |
| <b>Cost \$/tCO<sub>2</sub></b>                      | \$\$\$<br>10-345                                                                                              | \$\$\$<br>15-400                                                                                                 | \$\$\$<br>100-1000                                                                                                   | \$\$\$<br>100-200                                                                         | \$\$\$<br>50-300                                                                                                 | \$\$\$<br>50-200                                                                                                         | \$\$\$<br>40-260                                                                                                   | \$\$\$<br>100-10,000                                                                        | \$\$\$<br>100-600                                                                                        |
| <b>Energy needs MWh/tCO<sub>2</sub></b>             | <br>Mostly electrical<br>0.2 | <br>Thermal & electrical<br>1.3 | <br>Thermal & electrical<br>2.0-2.2 |                                                                                           | <br>Thermal & electrical<br>1 | <br>Electrical<br>0.8                 | <br>Thermal & electrical<br>1.7 |                                                                                             | <br>Electrical<br>1.8 |
| <b>Land needs (m<sup>2</sup>/tCO<sub>2</sub>/y)</b> | <br>160-1000               | <br>310-580                   | <br>1.5                           | <br>6  | <br>0                       | <br>30-83                           | <br>0                         | <br>0  | <br>0               |
| <b>Water needs (l/tCO<sub>2</sub>)</b>              | <br>0                      | <br>410,000                   | <br>4,000-4,500                   |                                                                                           | <br>25,000                  | <br>600                             | <br>0                         |                                                                                             | <br>0               |
| <b>Raw materials</b>                                | Biomass<br>1.4 t/tCO <sub>2</sub>                                                                             | Biomass<br>1.5 t/tCO <sub>2</sub>                                                                                |                                                                                                                      | Woody biomass<br>1 m <sup>3</sup> /tCO <sub>2</sub>                                       | Depending on mineral<br>1.6-5 t/tCO <sub>2</sub>                                                                 | Basalt<br>5.9 t/tCO <sub>2</sub>                                                                                         | Lime<br>1.8 t/tCO <sub>2</sub>                                                                                     |                                                                                             | Seawater<br>12,500 L/tCO <sub>2</sub>                                                                    |
| <b>Applicability to Oslo</b>                        | Suitable for Oslo but limited quantities                                                                      | Hafslund Celsio project in Oslo                                                                                  | Limited applicability for Oslo                                                                                       | Potential through building plans                                                          | Ex-situ most suitable                                                                                            | Limited suitability for urbanized areas                                                                                  | Low suitability for Oslofjord                                                                                      | Suitable but limited additional potential                                                   | Low suitability for Oslofjord                                                                            |

A

Karbonfjerning i Oslo – potensial i 2040

## Vedlegg 2 – CDR faktaark

Vedlegg 2 inneholder faktaark for hver av CDR-teknologiene som er inkludert i dette prosjektet. Et eget faktaark er presentert for:

1. BECCS
2. Biokull
3. DACCS
4. Mineral karbonatisering
5. Forsterket forvitring
6. Økt alkalinitet i havet
7. Blått karbon
8. DOCCS
9. Karbonlagring i tre i bygg

# BECCS

Bioenergi med karbonfangst og -lagring

TRL

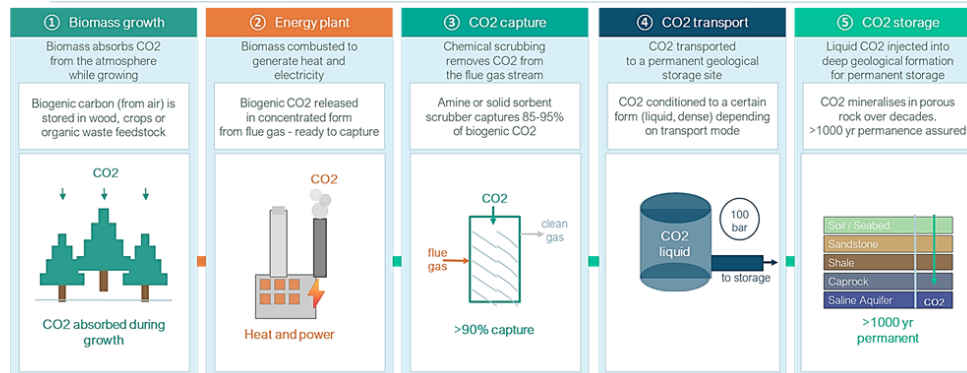
5-9

Varighet

>1000 år

Nøkkelressurs

Bio-CO<sub>2</sub>



- Biomasse (trevirke, landbruksavfall, urbant organisk avfall) brukes til å produsere varme/elektrisitet eller produkter (f.eks. biogass, papir- og celluloseprodukter)
- CO<sub>2</sub> som frigjøres fra denne forbrenningen fanges opp før den når atmosfæren
- Den fangede CO<sub>2</sub>-en komprimeres og lagres permanent dypt under bakken i geologiske formasjoner
- Hvis systemet lagrer mer CO<sub>2</sub> fra atmosfæren enn det slipper ut over hele livsløpet → negative utslipp

| Ressurs- og infrastrukturbehov              | Tilgjengelig i Oslo? |
|---------------------------------------------|----------------------|
| Biomasse / organisk avfall som råstoff      | ✓                    |
| Kildeutslipp av bio-CO <sub>2</sub>         | ✓                    |
| Teknologi for utvinning etter forbrenning   | ✓                    |
| Transportinfrastruktur for CO <sub>2</sub>  | ✓ (havn)             |
| Geologisk lagring                           | X                    |
| Energi (varme og elektrisitet)              | ✓                    |
| Industriarealer / tomter                    | ✓                    |
| MRV-rammeverk                               | ✓                    |
| Planlagte / operative prosjekter i regionen | ✓                    |
| Relevant i Oslo                             | ✓✓✓                  |

## Relevans for Oslo

BECCS bør være Oslos høyest prioriterte og mest umiddelbart gjennomførbare CDR-løsning. Rammebetingelsene er gode: en stor, konsentrert kilde til biogen CO<sub>2</sub> finnes allerede, en investeringsbeslutning er tatt, fangstteknologi er valgt, og transport- og lagringskjeden Northern Lights er i drift.

Det finnes andre bio-CO<sub>2</sub>-kilder som kan dra nytte av disse rammebetingelsene.

De viktigste risikoene er sammensetningen av råstoffet og behovet for nøyte bestemmelse/måling av fossil CO<sub>2</sub> i den blandede avfallsstrømmen, som regnes som utslippsreduksjon og ikke CDR

# Biokull

TRL

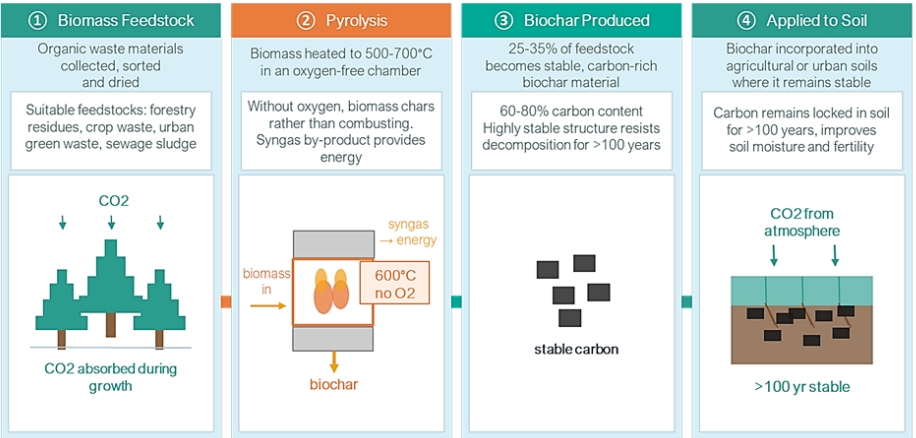
6-7

Varighet

100-1000 år

Nøkkelressurs

Biomasse



- Biomasse (trevirke, landbruksavfall, urbant organisk avfall) varmes opp til ca. 600 °C under oksygenfattige forhold (pyrolyse) og omdannes til et stabilt, kull-lignende materiale
- Når det tilføres jord eller blandes inn i byggematerialer (f.eks. betong), kan karbonet lagres i 100-1000 år

| Ressurs- og infrastrukturbehov                     | Tilgjengelig i Oslo? |
|----------------------------------------------------|----------------------|
| Biomasse / organisk avfall                         | ✓                    |
| Pyrolyseanlegg (industrielle)                      | ✗                    |
| Spredningsareal – landbruk                         | ✗                    |
| Spredningsareal – urbane grønne områder            | ✓                    |
| Laboratorier for kvalitetstesting og sertifisering | ✗                    |
| Energiforsyning                                    | ✓                    |
| Industritomter / -områder                          | ✓                    |
| MRV-rammeverk                                      | ✓                    |
| Planlagte / operative prosjekter i regionen        | ✓                    |
| Relevant i Oslo                                    | ✓✓                   |

## Relevans for Oslo

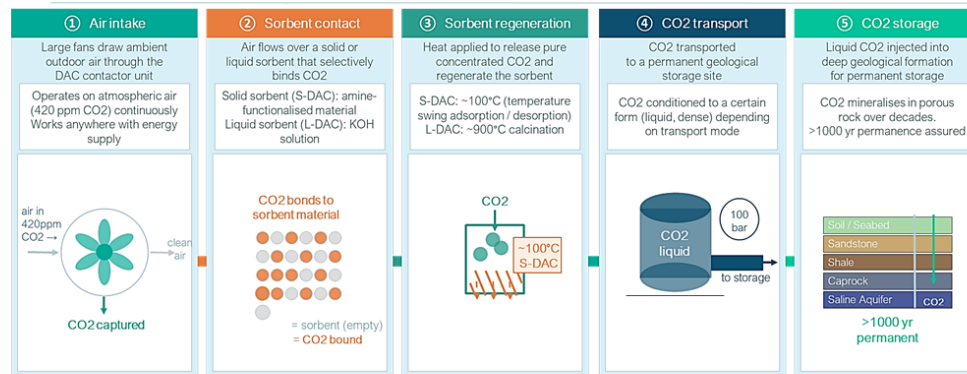
Biokull er Oslos beste komplementære CDR-løsning på kort sikt, ved siden av BECCS. Kombinasjonen av eksisterende avfallsstrømmer, et pågående pilotprosjekt, kompakt anleggsfotavtrykk, synergi med fjernvarme og et EU-sertifiseringsrammeverk gjør denne løsningen realistisk innen 2040.

Den viktigste begrensningen er konkurranse om råstoff med biogass. Oslo trenger et formelt hierarki for organisk avfall som allokterer trevirke og park- og hageavfall til pyrolyse, samtidig som matavfall sendes til biogass. Biokull er en bytilpasset og kommersielt moden CDR-løsning for Oslo.

# DACCS

Direkte luftfangst og lagring av karbondioksid

| TRL                 | Varighet | Nøkkelressurs |
|---------------------|----------|---------------|
| 7–9 (S-DAC / L-DAC) | >1000 år | Energi        |



- DACCS bruker store vifter til å trekke atmosfærisk luft gjennom en kontaktor der CO<sub>2</sub>-molekyler fanges av flytende løsemidler eller faste sorbenter
- Når sorbenten er mettet med CO<sub>2</sub>, varmes den opp for å frigjøre en ren, konsentrert CO<sub>2</sub>-strøm, som deretter kan komprimeres, transporteres og injiseres permanent under bakken
- DACCS kan i teorien bygges hvor som helst med tilgang til lavkarbonenergi og CO<sub>2</sub>-lagring
- Kan også integreres i bygninger: en enhet koblet til byggets ventilasjonssystem fanger CO<sub>2</sub> (som har høyere konsentrasjon innendørs)

| Ressurs- og infrastrukturbehov                   | Tilgjengelig i Oslo? |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| Store mengder omgivelsesluft                     | ✓                    |
| Store mengder lavutslippsenergi                  | ✗                    |
| Nettkapasitet                                    | ✗                    |
| CO <sub>2</sub> -transportinfrastruktur          | ✓ (havn)             |
| Geologisk lagring                                | ✗                    |
| Industriområder / tomter for frittstående anlegg | ✗                    |
| MRV-rammeverk                                    | ✓                    |
| Planlagte / operative prosjekter i regionen      | ✗                    |
| Relevant i Oslo                                  | ✗                    |

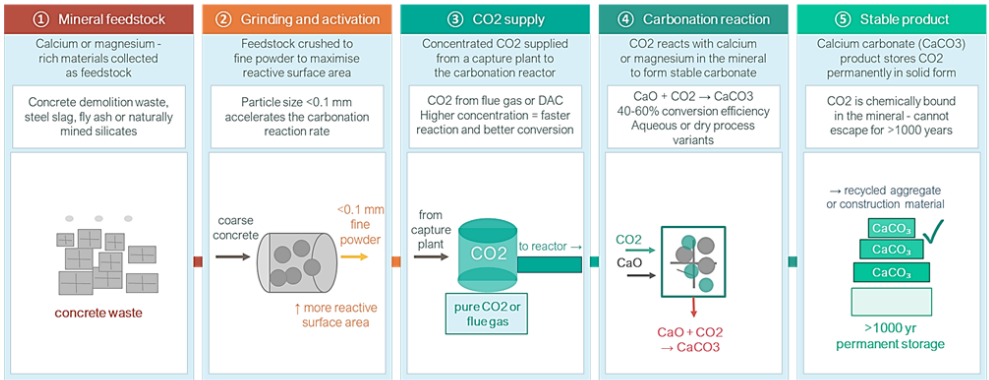
## Relevans for Oslo

DACCS er teknisk gjennomførbart i Oslo gitt tilgang til Northern Lights transport- og lagringsinfrastruktur via Sjørøya. Imidlertid gjør begrensninger i strømmettet og svært høye kostnader storskala implementering økonomisk utfordrende innen 2040. Et mindre pilotprosjekt kan være verdifullt for læring, men vil ikke bidra vesentlig til Oslos CDR-mål.

Bygningsintegrert DAC, der CO<sub>2</sub>-fangstenheter kobles til bygningers ventilasjons- og klimaanlegg (HVAC), er en fremvoksende idé som er demonstrert i Danmark. Dette krever imidlertid en helt ny desentralisert infrastruktur for innsamling av CO<sub>2</sub> som ikke eksisterer i dag, og som vil være kostbar å etablere.

# Mineral karbonatisering

| TRL | Permanens | Nøkkelressurs |
|-----|-----------|---------------|
| 7-9 | >1000 år  | Mineraler     |



- Visse mineraler (kalsium- og magnesiumoksider, som finnes i bergarter som olivin, basalt og serpentin) reagerer naturlig med CO<sub>2</sub> og danner fast karbonatberg (dette tar tusenvis av år i naturen)
- Mineral karbonatisering akselererer denne prosessen: CO<sub>2</sub> reagerer med knuste mineraler eller industrielle alkaliske restmaterialer (betongavfall, stålslagg) for å produsere stabile karbonatmaterialer (kalkstein) i en reaktor
- Ex-situ-prosesser (utført i en reaktor eller fabrikk): urbant byggavfall blir et råstoff, og de resulterende karbonatene kan brukes som byggematerialer
- In-situ-tilnærminger (injeksjon av CO<sub>2</sub> under bakken i basaltformasjoner) utforskes også globalt

| Ressurs- og infrastrukturbehov                         | Tilgjengelig i Oslo? |
|--------------------------------------------------------|----------------------|
| Kalsium-/magnesiumrikt mineralråstoff – olivin, basalt | X                    |
| Kalsium-/magnesiumrikt mineralråstoff – rivningsavfall | ✓                    |
| Grinding-infrastruktur                                 | X                    |
| Konsentrerte CO <sub>2</sub> kilder                    | ✓                    |
| Karboniseringsreaktor (ex-situ)                        | X                    |
| Energi (grinding + reaktor)                            | ✓                    |
| MRV-rammeverk                                          | X                    |
| Pilotprosjekter / operative prosjekter i regionen      | ✓                    |
| Relevant i Oslo                                        | ✓                    |

## Relevans for Oslo

Mineral karbonatisering har en unik råstoff-fordel i Oslo, siden byen produserer mer betongrivningsavfall enn den i dag klarer å utnytte produktivt.

Imidlertid står løsningen overfor flere viktige barrierer: fravær av reaktorer i kommersiell skala, ingen etablert MRV-rammeverk og begrensede tilgang til bio-CO<sub>2</sub>. Dette gjør at betydelig utbredelse innen 2040 er lite sannsynlig. Det realistiske potensialet i 2040 forblir derfor begrenset.

# Forsterket forvitring (EW)

TRL

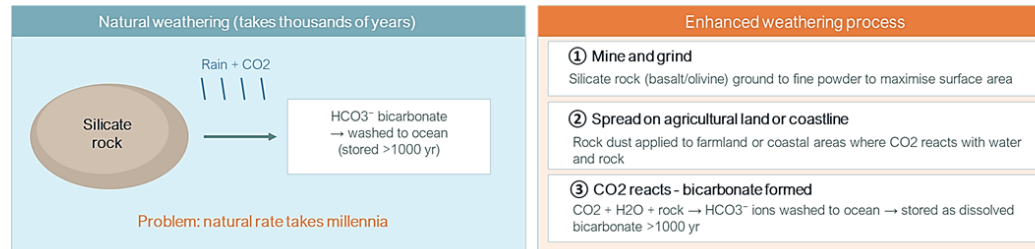
3-4

Permanens

>1000 år

Nøkkelressurs

Mineraler



- Bergarter reagerer naturlig med CO<sub>2</sub> i regnvann over tusenvis av år og omdanner det til oppløst bikarbonat som transporteres til havet og lagres der permanent. Denne prosessen «forvitrer» bergarten
- Forsterket forvitring akselererer dette ved å utvinne, knuse og spre silikatbergarter (basalt, olivin) over jordbruksarealer eller kystområder
- CO<sub>2</sub> reagerer med det knuste materialet i løpet av måneder til år, i stedet for årtusener, og bikarbonationene skylles ut i elver og til slutt til havet hvor de lagres i over 1000 år

| Ressurs- og infrastrukturbehov                    | Tilgjengelig i Oslo? |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Råstoff av silikatbergart – olivin, basalt        | X                    |
| Grinding-infrastruktur                            | X                    |
| Store landbruks- eller kystområder                | X                    |
| Påføringsmaskiner (spredere)                      | X                    |
| Støvhåndtering                                    | X                    |
| Transportlogistikk                                | X                    |
| MRV-rammeverk                                     | X                    |
| Pilotprosjekter / operative prosjekter i regionen | X                    |
| Relevant i Oslo                                   | X X X                |

## Relevans for Oslo

Forsterket forvitring er ikke en relevant løsning for Oslo kommune.

Tiltaket krever store åpne arealer, omfattende logistikk og tilgang på mineraler. Støv- og luftkvalitetsrisiko fra finmalt berg kan være uforholdsmessig alvorlig i et tett befolket urbant miljø.

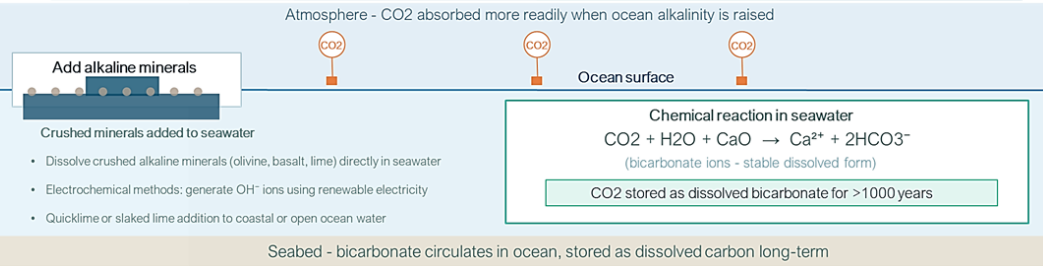
Underutviklet MRV innebærer at eventuelle påståtte karbonfjerninger fra forsterket forvitring vil mangle den nødvendige troverdigheten for et CDR-mål

# Økt alkalinitet i havet (OAE)

|     |
|-----|
| TRL |
| 1-2 |

|           |
|-----------|
| Permanens |
| >1000 år  |

|                 |
|-----------------|
| Nøkkelressurser |
| Mineraler       |



- Havet absorberer naturlig CO2 fra atmosfæren
- Å øke havets alkalinitet (redusere surhetsgraden) gjør at det kan absorbere og holde betydelig mer CO2
- OAE gjør dette ved å tilføre alkaliske materialer, som knust kalkstein, olivin eller kalk, til kystnære farvann
- Mineralene løses opp og reagerer med CO2 og omdanner det til stabilt bikarbonat som forblir i havet i over 1000 år
- Flere metoder testes: oppløsning av mineraler direkte i kystvann, utslipp av alkaliske slurryer fra skip eller bruk av elektrokjemiske prosesser

| Ressurs- og infrastrukturbehov                    | Tilgjengelig i Oslo? |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Tilgang til stort havområde / åpent kystfarvann   | X                    |
| Tilgang på alkaliske mineraler                    | X                    |
| Mineraloppløsning eller elektrokemisk anlegg      | X                    |
| Overvåking av det marine økosystemet              | X                    |
| Havne-/maritim infrastruktur                      | ✓                    |
| Transportlogistikk                                | X                    |
| MRV-rammeverk                                     | X                    |
| Pilotprosjekter / operative prosjekter i regionen | X                    |
| Relevant i Oslo                                   | X X X                |

## Relevans for Oslo

OAE er ikke egnet for Oslofjorden.

Oslofjorden er en delvis lukket fjord med begrenset vannutveksling med det åpne havet, noe som innebærer at tilsatt bikarbonat ikke vil sirkulere effektivt ut i det større havet.

Fjordens økologiske følsomhet er også svært høy. OAE er fortsatt på TRL 1-2, noe som gjør det til et fjernt perspektiv for Oslo på kort sikt.

# Blått karbon

TRL

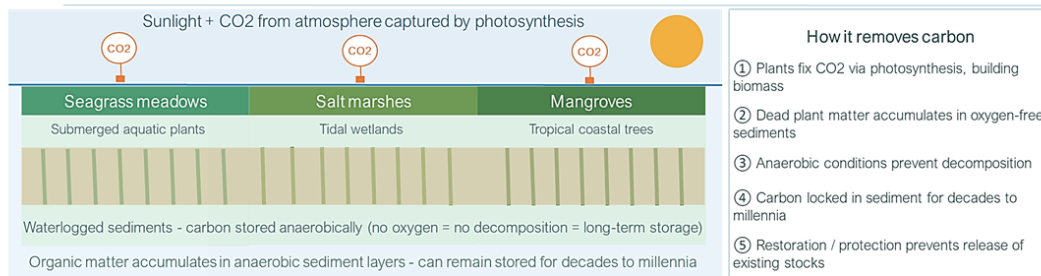
2-6

Varighet

10-100 år

Nøkkelressurser

Kystområde



- Kystøkosystemer, som sjøgressenger, saltmyrer og mangrover, er effektive til å fange karbon
- De absorberer CO<sub>2</sub> og lagrer det både i biomassen og i de vannmettede sedimentene under
- I motsetning til skoger, hvor dødt plantemateriale til slutt brytes ned og slipper ut CO<sub>2</sub>, er kystsedimenter ofte anaerobe (oksygenfrie), noe som hindrer nedbrytning og holder karbonet lagret i århundrer
- Blå karbon-prosjekter beskytter eksisterende økosystemer mot ødeleggelse (som ellers ville frigjort lagret karbon) og restaurerer degraderte områder for å gjenoppbygge deres karbonlagringskapasitet

| Ressurs- og infrastrukturbehov                    | Tilgjengelig i Oslo? |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Kystøkosystem til stede                           | ✓                    |
| Område for ytterligere økosystem                  | X                    |
| Potensial for restaurering                        | ?                    |
| Beskyttelse mot fysiske forstyrrelser             | X                    |
| MRV-rammeverk                                     | X                    |
| Overvåkingsinfrastruktur                          | X                    |
| Pilotprosjekter / operative prosjekter i regionen | X                    |
| Relevant i Oslo                                   | XX                   |

## Relevans for Oslo

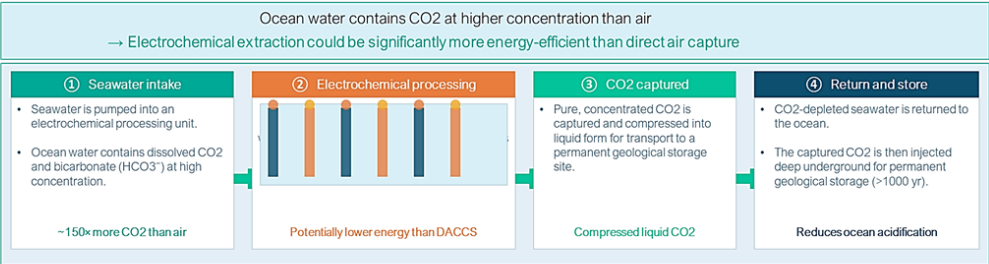
Blått karbon i Oslofjorden er primært en økologisk restaureringsgevinst snarere enn en skalerbar CDR-løsning.

Omfanget av ålegras-habitatet ser ut til å være for lite til å gi betydelige karbonfjerninger. Det er utfordrende å inkludere dette i Oslos CDR-regnskap før et troverdig MRV-rammeverk er på plass. Å beskytte eksisterende ålegras i Oslofjorden og restaurere degraderte områder er økologisk verdifullt, men vil sannsynligvis ikke gi storskala CDR alene.

# DOCCS

Direkte karbonfangst og -lagring i havet

| TRL | Permanens | Viktig ressurs |
|-----|-----------|----------------|
| 2   | > 1000 år | Havvann        |



- Havet absorberer CO<sub>2</sub>, noe som gjør sjøvann rikt på oppløst CO<sub>2</sub> (som karbonat- og bikarbonationer)
- DOCCS utnytter dette reservoaret direkte. Sjøvann pumpes gjennom et lukket elektrokjemisk system som forsurer vannet lokalt, og frigjør oppløst CO<sub>2</sub> som en konsentrert strøm
- CO<sub>2</sub>-en fanges deretter og lagres under bakken
- Vannet, som nå har redusert CO<sub>2</sub>-innhold, føres tilbake til havet, hvor det naturlig tar opp CO<sub>2</sub> fra atmosfæren igjen
- Fordi CO<sub>2</sub> er omtrent 150 ganger mer konsentrert i sjøvann enn i luft, kan DOCCS være betydelig mer energieffektivt enn DACCS, men dette er fortsatt teoretisk på dagens utviklingsstadium (TRL 2)

| Ressurs- og infrastrukturbehov                    | Tilgjengelig i Oslo? |
|---------------------------------------------------|----------------------|
| Tilgang til store mengder sjøvann                 | X                    |
| Areal for industrianlegg ved kysten               | X                    |
| Utstyr for elektrokjemisk prosessering            | X                    |
| CO <sub>2</sub> transportinfrastruktur            | ✓                    |
| Geologisk lagring                                 | X                    |
| Marin økologisk overvåking                        | X                    |
| MRV-rammeverk                                     | X                    |
| Pilotprosjekter / operative prosjekter i regionen | X                    |
| Relevant i Oslo                                   | X X X                |

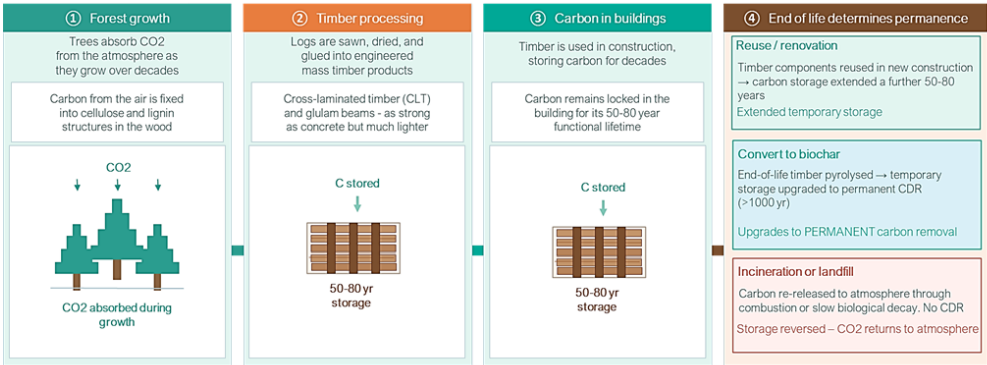
## Relevans for Oslo

DOCCS er ikke en relevant CDR-løsning for Oslo. Teknologien er på TRL 2, det finnes ingen kommersielle systemer globalt, Oslofjorden er økologisk uegnet, og Oslo mangler nødvendig kystnært industrielt areal.

Oslo kan følge med utviklingen av DOCCS, støtte norsk forskning på området og vurdere egnetheten på nytt etter 2040 dersom teknologien modnes og demonstreres.

# Tre i bygg

|     |          |                |
|-----|----------|----------------|
| TRL | Varighet | Nøkkelessurser |
| 9   | 5-100 år | Trevirke       |



- Når trevirke høstes og omdannes til bærende byggematerialer (bjelker, paneler, CLT-gulv), forblir karbonet lagret i bygget i stedet for å returnere til atmosfæren
- Lagringen er midlertidig (5-100 år, avhengig av byggets levetid)
- Ved endt levetid kan treet gjenbrukes, omdannes til biokull eller forbrennes (CO<sub>2</sub> slippes da ut igjen)
- Ikke en permanent CDR-løsning

| Ressurs- og infrastrukturbehov                             | Tilgjengelig i Oslo? |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| Trebiomasse / tømmerforsyning                              | ✓                    |
| Energi / industriell infrastruktur                         | ✓                    |
| Etterspørsel fra utbyggere / kunder                        | ✓                    |
| Overholdelse av brannsikkerhetskrav                        | ✓                    |
| Infrastruktur for håndtering av avfall (biokull, gjenbruk) | ✗                    |
| Areal til skog/tømmer                                      | ✓                    |
| MRV-rammeverk                                              | ✗                    |
| Planlagte / operative prosjekter i regionen                | ✓                    |
| Relevant i Oslo                                            | ✓✓                   |

## Relevans for Oslo

Tre i bygg er ikke en permanent CDR-løsning, men det er en av Oslos mest umiddelbart skalerbare klimatiltak. Karbon lagret i en bygning vil frigjøres ved endt levetid gjennom riving, nedbrytning eller forbrenning (typisk innen 50–100 år).

Den langsiktige verdien av tre i bygg som CDR avhenger av: 1) hva som skjer med treet ved endt levetid (ideelt omdirigering til biokull eller BECCS fremfor forbrenning); 2) kontinuerlig nybygging med tre som opprettholder det totale karbonlageret; 3) om skogen som tømmeret kommer fra fortsatt fungerer som en karbonlager etter hogst.



# CARBON LIMITS

Juni 2026

Carbon Limits AS   
@CarbonLimitsAS 

Stensberggata 27  
NO-0170 Oslo  
Norge

+47 988 457 930  
[www.carbonlimits.no](http://www.carbonlimits.no)

