

2297

NINA Rapport

Økt kunnskap om karbon i jord i Bergen, Stavanger, Trondheim og Oslo

Tessa Bargmann, Ulrika Jansson, Hanna Silvennoinen, Graciela M. Rusch, Mari Jokerud, Lajla Tunaal White, Jenni Nordén, Carl-Fredrik Johannesson, Kristin Thorsrud Teien, Frode Thomassen Singsaas, Yennie Bredin & Eivind Junker



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er NINAs ordinære rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på engelsk, som NINA Report.

NINA Temahefte

Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. Heftene har vanligvis en populærvitenskapelig form med vekt på illustrasjoner. NINA Temahefte kan også utgis på engelsk, som NINA Special Report.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler og i populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Økt kunnskap om karbon i jord i Bergen, Stavanger, Trondheim og Oslo

Tessa Bargmann, Ulrika Jansson, Hanna Silvennoinen, Graciela M. Rusch, Mari Jokerud, Lajla Tunaal White, Jenni Nordén, Carl-Fredrik Johannesson, Kristin Thorsrud Teien, Frode Thomassen Singaas, Yennie Bredin & Eivind Junker

Bargmann, T., Jansson, U., Silvennoinen, H., Rusch, G.M., Joke-
rud, M., White, L.T., Nordén, J., Johannesson, C.F., Teien, K.T.,
Singsaas, F.T., Bredin, Y. & Junker, E. 2023. Økt kunnskap om
karbon i jord i Bergen, Stavanger, Trondheim og Oslo. NINA Rap-
port 2297. Norsk institutt for naturforskning

Bergen, mai 2023

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-5094-8

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV

Astrid Brekke Skrindo og Anders Lyngstad

ANSVARLIG SIGNATUR

Forskningsjef Jørgen Rosvold (sign.)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Oslo kommune, Bergen kommune, Stavanger kommune og Trond-
heim kommune

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Kaja Elise Næss Killingland (Oslo), Benedikte Wiig Sørensen
(Oslo), Astrid Berge (Bergen), Tone Ankarstrand (Stavanger), Aina
Hovden Lunde (Stavanger), Rebecka Karolin Snefuglli Sondell
(Trondheim), Evelyne Marie Gildemyn (Trondheim) og Marianne
Langedal (Trondheim)

FORSIDEBILDE

Jordprøvetaking i kreklinghei © Mari Jokerud

NØKKEWORD

Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, karbonlager, karbonopptak,
jord, torv, kunnskapssammenstilling, hjemmelsgrunnlag, kartgrunn-
lag, metoder, skog, myr, våtmark, åpne naturtyper, urbane økosys-
temer.

KEY WORDS

Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, carbon storage, carbon se-
questration, soil, peat, knowledge compilation, legal basis, map,
methods, forest, mire, wetland, open landscapes, urban ecosys-
tems.

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor
Postboks 5685 Torgarden
7485 Trondheim
Tlf: 73 80 14 00

NINA Oslo
Sognsveien 68
0855 Oslo
Tlf: 73 80 14 00

NINA Tromsø
Postboks 6606 Langnes
9296 Tromsø
Tlf: 77 75 04 00

NINA Lillehammer
Vormstuguvegen 40
2624 Lillehammer
Tlf: 73 80 14 00

NINA Bergen
Thormøhlens gate 55
5006 Bergen
Tlf: 73 80 14 00

www.nina.no

Sammendrag

Bargmann, T., Jansson, U., Silvennoinen, H., Rusch, G.M., Jokerud, M., White, L.T., Nordén, J., Johannesson, C.F., Teien, K.T., Singasaas, F.T., Bredin, Y. & Junker, E. 2023. Økt kunnskap om karbon i jord i Bergen, Stavanger, Trondheim og Oslo. NINA Rapport 2297. Norsk institutt for naturforskning.

Kunnskapsgrunnlaget for å vurdere effekten som arealbruksendringer har på karbonlagrene i jord er ikke tilstrekkelig. For å kunne imøtekomme nasjonale forventninger, og oppfylle klima-strategier eller satsninger, har dette prosjektet sammenstilt kunnskap om karbon i jord, og belyst hvordan de deltakende kommunene (Bergen, Stavanger, Trondheim og Oslo) kan øke denne kunnskapen der den er mangelfull. Rapportens overordnede mål er å oppdatere datagrunnlaget om verdien av karbonlagrene i de fire kommunene, og identifisere kunnskapsmangel og grad av usikkerhet rundt eksisterende estimater. Vi har 1) laget en oversikt over det mest oppdaterte og tilgjengelige kartgrunnlaget om hovedøkosystemenes utbredelse, 2) oppdatert kunnskapsgrunnlaget om karbonlagrene i disse hovedøkosystemene gjennom en litteraturgjennomgang, 3) identifisert viktige datamangler for å kunne oppfylle rapporteringskravene under utvikling for karbonregnskap ifølge naturregnskapsprinsipper, 4) vurdert om det finnes hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser eller utredninger av karbon i jord i bestemmelser.

Det er stor variasjon i både dekningsgraden av kart, og hvor detaljerte kartdata som finnes tilgjengelig for hver hovedtype. Nøyaktigheten på heldekkende kartlag er heller ikke tilstrekkelig for å fange opp viktige naturtyper med små arealer og grønnsstrukturer i bebygde områder. Derfor trengs det et bedre kartgrunnlag for økosystemene, slik at økologiske data og karbonlager kan knyttes til arealtypene. En mulighet for å få en bedre oversikt over konkrete arealer er å kombinere flere av kartkildene som er beskrevet i denne rapporten.

De mest verdifulle skogstypene for karbonlagrene under bakken og på økosystemnivå er gamle, naturskogslignende skoger, særlig av boreal løvskog. Karbonlageret i myr er betydelig større enn i skog, og myr er det mest karbonrike økosystemet med 5-10 ganger høyere karbonlager sammenlignet med skog på mineraljord. Litteraturen fra urbane økosystemer viste at gamle, tredominerte naturtyper generelt har et høyere karboninnhold i jord enn gressdominerte urbane økosystemer. Jorddybde, jordtype og vannmetning kan også ha mye å si for karboninnholdet. Litteraturen om karbonlagrene i åpne- og urbane landskap er spesielt mangelfull, men generelt er det lite skrevet om karbonlagring i jordsmonn i norske økosystemer.

Tallene for jordkarbonlagre som kommer fra litteraturen er trolig tilstrekkelig for bruk i overordnet arealplanlegging. Hvis konsekvensutredningene skal inkludere karbonlagre, trengs det mer detaljerte undersøkelser for å kunne estimere karbonlageret som er sårbart før endringene settes i gang. Torvdybde er en god indikator for karbonlager i myr, mens det trengs beregninger av overjordisk biomasse, dybde og variasjon i organiske jordlag i skog og andre økosystemer uten torv. Det er behov for nasjonale retningslinjer for hvilket kunnskapsgrunnlag som bør innhentes om karbon i jord og hvilken metodikk som skal anvendes, samt at det må utvikles et system for innrapportering og videre bruk. Dette bør utformes med henvisning til veiledning om metoder og med konkretisering av når kommunen faktisk kan pålegge denne type kunnskapsinnhenting. Videre bør det utvikles en felles metode for beregninger av kommunens samlede karbonlagre og hvordan ulike tiltak kan påvirke utslipp fra, og fremtidig opptak av, karbon i ulike typer arealer/jordtyper. Dette vil kunne inngå i arbeidet med klima- og energiplaner, samtidig som felles metode og system vil kunne gi sammenlignbare data som kan bidra til bedre helhetlige vurderinger av samlet belastning.

Kommunene har behov for kunnskap om karbon i jord i ulike planprosesser og vedtak. Generelle utredningskrav i offentlige vedtak er omtalt, deretter hvordan det kan gis planbestemmelser om karbon i jord. Vi har oppsummert ulike scenarier og muligheter for å stille krav til innhenting av kunnskap om karbonrike arealer med hjemler i plan- og bygningsloven og konsekvensutredningsregelverket.

Tessa Bargmann (tessa.bargmann@nina.no), Mari Jokerud (mari.jokerud@nina.no), NINA Bergen, Thormøhlens gate 55, 5006 Bergen

Ulrika Jansson (ulrika.jansson@nina.no), Lajla Tunaal White (lajla.white@nina.no), Carl-Fredrik Johannesson (carl.johannesson@nina.no), Kristin Thorsrud Teien (kristin.teien@nina.no), Jenni Nordén (jenni.norden@nina.no), Yennie Bredin (yennie.bredin@nina.no), NINA Oslo, Sognsveien 68, 0855 Oslo

Hanna Silvennoinen (hanna.silvennoinen@nina.no), Graciela Monica Rusch (graciela.rusch@nina.no), Frode Thomassen Singsaas (frode.singsaas@nina.no), NINA Trondheim, Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Eivind Junker (eivind.junker@nord.no), Nord universitet Levanger, Høgskoleveien 27, 7600 Levanger

Innhold

Sammendrag	3
Innhold	5
Forord	6
1 Innledning	7
1.1 Rapporteringskravene for karbonregnskap ifølge naturregnskapsprinsipper.....	8
1.2 Begrepsavklaringer, måleenheter og rapporteringssystem	8
2 Litteraturstudie	10
2.1 Metode og avgrensing	10
2.2 Vurdering av resultat	11
3 Typifisering av arealkategorier og vurdering av tilgjengelige kartlag	12
3.1 Typifisering av økosystemer.....	12
3.2 Tilgjengelige kartlag og generelle mangler i kartgrunlaget	13
3.3 Spesifikk kunnskap og mangler i kommunene.....	22
4 Karbonlagrene i jord	24
4.1 Skog.....	24
4.2 Myr (åpen våtmark)	27
4.3 Åpne naturtyper (åpen fastmark)	29
4.4 Urbane økosystemer	30
4.5 Jordkarbonlagre i kommunene.....	32
5 Metodeanbefalinger for innhenting av kunnskap om karbon i jord	35
5.1 Anbefalt kunnskapsinnhenting	35
5.2 Kostnader	37
6 Hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser	39
6.1 Finnes det hjemmelsgrunnlag?	39
6.2 Anbefalinger for egnet utforming av krav i bestemmelser og detaljeringsnivå for kommune og forslagsstiller	49
7 Muligheter og forslag for en forbedring av kunnskapsgrunlaget	51
7.1 Hjemmelsgrunnlag og planvirkemidler for et bedre kunnskapsgrunnlag.....	51
7.2 Oppsummering, kunnskapshull og forbedring av datagrunlaget	52
8 Referanser	54

Forord

De deltakende kommunene i dette prosjektet opplever at kunnskapsgrunnlaget er utilstrekkelig for å vurdere effekten av arealbruksendringer på karbonlagrene i jord. Karbon lagret i jord utgjør mest parten av karbonet lagret i norske økosystemer. Det foreligger per i dag langt mindre forskning på karbonlagring i jord, sammenlignet med opptak og -lagring i vegetasjon over bakken. Vi vet imidlertid at karbonlagring i vegetasjon påvirker og henger tett sammen med karbonlagring i jord. For å kunne begrense klimagassutslipp, ivareta eller øke opptak, samt unngå tap av fremtidig karbonopptak ved nedbygging av karbonrike areal, er det behov for mer kunnskap om hvor de karbonrike arealene befinner seg. Deltakende kommuner i dette prosjektet har varierende kunnskap om karbonrike arealer i sin kommune. Både Oslo, Bergen, Trondheim og Stavanger har arbeidet med spørsmål knyttet til karbonlagring i jord i sitt klimaarbeid. Erfaringen er at både kunnskap og verktøy mangler for å kunne adressere denne problemstillingen på en helhetlig og god måte, der også karbon i jord er inkludert.

Formålet med dette prosjektet har derfor vært å gi deltakende kommuner et bedre kunnskapsgrunnlag om karbon i jord. Resultatene fra prosjektet skal blant annet bidra til at de deltakende kommunene skal kunne ta mer kvalifiserte beslutninger i vurderinger knyttet til arealplanlegging, utbyggingstiltak og ivaretagelse av grønnstruktur. For å kunne imøtekomme nasjonale forventninger, og også oppfylle egne klimastrategier eller satsninger, har dette prosjektet sammenstilt eksisterende kunnskap om karbon i jord, samt belyst hvordan byene kan gå frem for å øke denne kunnskapen der den er mangelfull.

Oppdragsgivere er Oslo kommune, Bergen kommune, Stavanger kommune og Trondheim kommune. Oslo kommune ved Klimaetaten er prosjektleder og har hatt hovedansvaret for praktisk oppfølging av oppdraget. Samarbeidspartnere i kommunene har vært Kaja Elise Næss Killingland (Oslo), Benedikte Wiig Sørensen (Oslo), Astrid Berge (Bergen), Tone Ankarstrand (Stavanger), Aina Hovden Lunde (Stavanger), Rebecka Karolin Snefugli Sondell (Trondheim), Evelyn Marie Gildemyn (Trondheim) og Marianne Langedal (Trondheim).

Tessa Bargmann har vært prosjektleder i NINA, deltatt i litteraturgjennomgangen og skrevet deler av kapittel 1-4 og 7. Ulrika Jansson har deltatt i litteraturgjennomgangen og skrevet deler av kapittel 3 og 4. Hanna Silvennoinen har deltatt i litteraturgjennomgangen og skrevet deler av kapittel 4 og 5. Graciela Rusch har skrevet deler av kapittel 1, 3 og 4. Mari Jokerud har deltatt i litteraturgjennomgangen og skrevet deler av kapittel 4 og 5. Lajla Tunaal White, Kristin Thorsrud Teien og Eivind Junker har skrevet kapittel 6. Lajla Tunaal White har også skrevet deler av kapittel 7. Jenni Nordén har deltatt i litteraturgjennomgangen og har skrevet deler av kapittel 4, 5 og 7. Carl-Fredrik Johannesson har deltatt i litteraturgjennomgangen og skrevet deler av kapittel 5. Frode Thomassen Singsaas har vært ansvarlig for gjennomføring av litteratursøket og skrivning av kapittel 2. Yennie Bredin har skrevet deler av kapittel 5. Audun Ruud (NINA) takkes for gode innspill til kapittel 6 om hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser, og Magni Olsen Kyrkjeeide takkes for gode innspill til kapittel 5 om metodeanbefalinger for innhenting av kunnskap om karbon i jord.

Tessa Bargmann
31.05.2023

1 Innledning

En viktig del av løsningen for å bremse klimaendringene, er å stanse utslipp av klimagasser som årsakes av ødeleggelse av naturens karbonlagre. Totalt estimeres det at 43,5 terratonn karbon er lagret i planetens økosystemer, og det er antatt at 80 prosent av karbonet som er bundet opp på land er bundet opp i jordsmonnet (Ontl & Schulte 2012). Økosystemer i nordiske klimaregioner har en særlig stor andel av det totale økosystemkarbonet under bakken (Scharlemann et al. 2014). I tillegg til å være en viktig økosystemtjeneste for å redusere klimaendringer, leverer jord med god helse også flere andre økosystemtjenester. For eksempel er jord livsmedium for planter, dyr, sopp, bakterier og andre mikro-organismer, og bidrar derfor betydelig til biologisk mangfold og andre økosystemtjenester som næringsomsetting, nedbrytning av organisk materiale, og rensning av forurensende stoffer (Creamer et al. 2022). Jord holder på vann, demper flom og bidrar positivt til reguleringen av atmosfærisk karbon.

Miljødirektoratet har utfordret kommunene til å ta vare på karbonlagrene (Miljødirektoratet 2023). I gjeldende «Nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging» beskrives det også at kommuner skal ta hensyn til karbonrike arealer i planleggingen og ved utbygning av infrastruktur (Kommunal- og moderniseringsdepartementet 2019). En utfordring med dette er at tilfredsstillende registreringer av karbonrike arealer ikke finnes i dag. Dette skyldes flere faktorer, i første rekke at kartgrunnlaget for økosystemer i Norge har lav nøyaktighet, og at det ikke finnes nok data om karbonlagrene i de ulike økosystemene.

Dagens kunnskap om karbonlagre over og under bakken er i hovedsak basert på data fra landskogstakseringen, som bare har målinger over bakken (Norwegian Environment Agency et al. 2020), samt fra studier gjort utenfor Norge. Generelt har forskning på karbonfangst og -lagring (netto opptak) i naturen til kommet kort i Norge. Det har så langt vært lite forskning på karbonfangst og -lagring i norske økosystemer, og det er variasjoner og usikkerhet knyttet til karbonbalansen (opptak versus utslipp) (Bartlett et al. 2020). Det er imidlertid stor interesse for å finne gode løsninger for både klima og natur, og det er satt i gang forsknings- og utredningsprosjekter for å øke kunnskapen om karbonlagre i norsk natur. Også for internasjonal rapportering (klimakonvensjonen, Parisavtalen og naturregnskap) etterspørres et bedre datagrunnlag, inkludert sammenstilling av eksisterende litteratur (Eurostat (under utarbeidelse)). Det er viktig at potensialet for karbonfangst og -lagring i norske økosystemer tas med i betraktningen for klimatiltak, og der det planlegges utbygging eller iverksettes tiltak som skal redusere karbonutslipp. Det er derfor et stort behov for bedre kunnskap om størrelse på karbonlagrene og hvordan de påvirkes av ulike typer inngrep og forvaltningstiltak.

I dag finnes det ikke arealdekkende data om karbonlagrene i Norge. Det som rapporteres til Klimakonvensjonen om landarealene er estimater av karbon opptak og utslipp, som i hovedsak forårsakes av arealbruksendringer fra seks areal typer: skog, dyrket mark, våtmark, gressmark, bebyggelse, og annet areal. Den største kilden til utslipp er nedbygging eller arealbruksendring av karbonrike arealer som skog og myr til dyrket mark. Datagrunnlaget for beregning av utslipp er mangelfull, spesielt fordi en stor del av karbonlagrene ligger i jorden, og man har begrenset data om karbonlagrene og utslipp etter arealendringer (Agropub 2022, Miljødirektoratet 2022). For de fleste økosystemer er datagrunnlaget som brukes i dag tynt, men nye studier gir mulighet for å forbedre estimeringen av karbonlagrene, og utslipp ved inngrep (f.eks. Bárcena et al. 2021, Cretois et al. 2022, French 2016, Mathiesen et al. 2022, Svendgård-Stokke et al. 2019).

Rapportens overordnede mål er å oppdatere datagrunnlaget om verdien av karbonlagrene i de fire kommunene, samt å identifisere kunnskapsmangel og grad av usikkerhet rundt eksisterende estimater. Spesifikt skal vi:

1. Få en oversikt over det mest oppdaterte og tilgjengelige kartgrunnlaget om hovedøkosystemenes utbredelse med relevans for kommunenes arealplanlegging.
2. Oppdatere kunnskapsgrunnlaget om karbonlagrene i disse hovedøkosystemene gjennom en litteraturgjennomgang, inkludert grad av usikkerhet i det oppdaterte datagrunnlaget.

3. Identifisere eventuelle data som mangler for å kunne oppfylle forventede rapporteringskrav for karbonregnskap ifølge naturregnskapsprinsipper (Eurostat (under utarbeidelse), United Nations 2021).

1.1 Rapporteringskravene for karbonregnskap ifølge naturregnskapsprinsipper

I det nye globale rammeverket for biologisk mangfold, Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework (FN Biologisk mangfold konvensjonen 2022; United Nations 2022), eller «naturavtalen» som ble vedtatt i desember 2022, er det nye og ambisiøse globale mål natur og naturgoder. Et av naturavtalens hovedmålsettinger understreker at biologisk mangfold skal ivaretas, brukes og forvaltes på en bærekraftig måte og at naturens bidrag til mennesker, inkludert økosystemfunksjoner og -tjenester skal verdsettes, vedlikeholdes og forbedres til fordel for nåværende og fremtidige generasjoner innen 2050.

Å bevare karbonlagrene i jordsmonn har en direkte tilknytning til flere viktige jordfunksjoner. Å hindre nedbygging og forstyrelse av karbonlagrene er til klima tiltak fordi inngrep på økosystemene øker utslippene av klimagasser (Mål 8 i naturavtalen). Dette har vært et hovedargument for å ta vare på karbonrike økosystemer. Karbonlagrene i jord er, sammen med dets biologiske mangfold, også viktig for mange andre viktige økosystemfunksjoner som f.eks. vannrensning, regulering av vannføring, vann- og næringsholding for planter, degradering av forurensing (Creamer et al. 2022). Å ta vare på karbonlagrene i jord er derfor direkte knyttet til mål 7 om å redusere overflødig næringsstoffer inkludert gjennom mer effektiv næringsssyklus og bruk, og til mål 11 om å bevare og styrke naturens bidrag til mennesker som f.eks. regulering av vann, klima og jordhelse.

Naturavtalen understreker også betydningen av overvåking og rapportering for å skaffe til veie og åpent formidle informasjon om fremdrift, status og trender om natur. Å fremskaffe data om status og endringer i jordkarbonlagrene er et steg i denne retningen. Å bruke de beste estimater fra sammenlignbare studier er et bra utgangspunkt for å veilede arealbruksprioritering gjennom planlegging, som kan fylles ut med nye data/bakkesannheter etter hvert og ved behov. Forbedret og åpent tilgjengelig datagrunnlaget kan brukes til å lage modeller som kan kombinere forskjellige typer av data og gi arealdekkende informasjon om karbonlagrene.

FNs statistikkbyrå (United Nations 2021) vedtok i 2021 en internasjonal standard for biofysiske regnskaper som del av naturregnskap (United Nations 2021). Dette rammeverket (SEEA EA) er tenkt som et miljøstatistikk- og rapporteringssystem for å holde rede på status for tilstand og utstrekning av ulike typer natur og tilhørende naturgoder (økosystemtjenester). Hvordan rammeverket skal iverksettes i Norge og andre land er under utvikling, og likeså hvilke egenskaper hos økosystemene som skal inngå. Det er imidlertid sannsynlig at indikatorer på status hos jordkarbon kommer til å inngå fordi dette er en egenskap som underbygger mange viktige naturgoder.

1.2 Begrepsavklaringer, måleenheter og rapporteringssystem

Fram til nylig har rapporteringskravene til Klimakonvensjonen vært veiledende for hva Norge trenger å føre regnskap over og rapportere. Innen LULUCF-sektoren (fra engelsk Land-Use, Land-Use Change and Forestry) regner man i hovedsak på balansen mellom klimagassutslipp og opptak ved arealendringer, det vil si når f.eks. areal dekket med skog blir omdisponert til bebyggelse. Denne balansen mellom hvor mye karbondioksid (CO₂) som fanges opp av vegetasjonen og lagres i økosystemet og hvor mye som slippes ut som klimagasser ved arealendring, regnskapsføres som CO₂-ekvivalenter (eCO₂). Dette er et standardisert mål på klimagasseffekten. Standardisering gjennom eCO₂ trengs fordi et økosystem har utslipp og opptak av flere klimagasser (f.eks. metan) med ulikt strålingspådriv. Den samlede effekten kan ikke beskrives

ved å legge sammen effekten av hver enkelt gass direkte. Datagrunnlaget for disse beregningene er skjevt fordelt både globalt (Malhotra et al. 2019) og i Norge (Bartlett et al. 2020). Det er også store forskjeller mellom naturtypene f.eks. er det gode data på skog, men mye mindre fullstendige data på fjellvegetasjon (Bartlett et al. 2020). I tillegg er det betydelig bedre datagrunnlag for karbonlageret over bakken (f.eks. i trestammer) enn for lageret i jordsmonnet. Ettersom de største karbonlagrene i norske økosystemer er under bakken, er det viktig å øke kunnskapen om disse.

Mange karbonrike økosystemer er også viktige for naturmangfold og har andre funksjoner knyttet til klimatilpasning, f.eks. gjennom å regulere vannføringen. Forbedret datagrunnlag om karbonlagre kan brukes i kommunale arealplaner, men også som grunnlag for f.eks. konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven, og for å prioritere vern, identifisere forbedringstiltak og iverksette restaureringsprosjekter. En vurdering av økosystemenes karbonlagre og rapportering om hvordan disse endres med tid har ikke vært fokus i den nåværende rapporteringen under Klimakonvensjonen, men det forventes å inngå i de nye standardene for internasjonale miljørapporteringer (Naturregnskap, SEEA EA, Edens et al. 2022). Økt kunnskap om karbonlagrene minsker også graden av usikkerhet når man beregner utslipp fra arealendringer, f.eks. når man omdisponerer en myr til en vindpark, eller når man drenerer ut myr for å få opp skog.

2 Litteraturstudie

2.1 Metode og avgrensing

En fullstendig kunnskapssammenstilling («systematic review») i begrepets strengeste betydning er en svært ressurskrevende og kostbar prosess som stiller strenge krav til lukket problemstilling og spørsmålsformulering. Omfang og problemstilling for dette prosjektet egner seg ikke for dette. Isteden har vi gjennomført en forenklet kunnskapssammenstilling («systematic map» eller «rapid evidence assessment» (James et al. 2016)), en metode vi mener egner seg godt for vårt formål.

Første steg i vår forenklete kunnskapssammenstilling var å avgrense litteratursøket. Dette ble gjort i dialog med oppdragsgiveren. Det var enighet om at litteratursøket skulle ha fokus på karboninnhold og lagring i jord. Utslipp og opptak av karbon i jord er også viktige prosesser, men disse skulle ikke ha hovedfokus i prosjektet. Videre skulle søket avgrenses til Norden og de britiske øyer. Grunnet en uhåndterbart stor mengde av litteraturfunn etter et tidlig søk ble det besluttet at vi ikke skulle ta med jordbruksmark og ferskvann i litteratursøket. Litteratursøket omfattet derfor hovedøkosystemene våtmark, skog, urbane områder, og åpne områder, der sistnevnte ble delt opp i kystlynghei og annen semi-naturlig mark.

Litteratursøket ble gjort 7.2.2023 i Web of Science (WoS) Core Collection, nærmere bestemt databasene:

1. Science Citation Index Expanded (1987 – present)
2. Social Sciences Citation Index (1987 – present)
3. Arts & Humanities Citation Index (1987 – present)
4. Emerging Sources Citation Index (2018 – present)

Vi satte opp et emneordssøk – det vil si søk i tittel, nøkkelord eller sammendrag – med hjelp av boolske operatører, i hovedsak OR og AND. Vi ønsket å fange opp arbeider som nevner både karbon og jord, i tillegg til minst ett av hovedøkosystemene over. I tillegg avgrenset vi søket til geografiske områder som er relevante for og sammenlignbare med norske forhold. På grunn av stor treffmengde la vi noen steder også inn den boolske nærhetsoperatoren «NEAR/*», for å begrense treff til tilfeller der ordene står i nærheten av hverandre, f.eks. «(Soil OR peat) NEAR/5 carbon».

Vi hadde et forhåndsbestemt utvalg av fem såkalte benchmark-artikler, det vil si svært sentrale artikler som vi ønsket at søket skulle fange opp. Disse ble benyttet aktivt for å justere søket. Etter noen runder med prøvesøk og justering ble dette den endelige søkestrengen:

(CO2 OR carbon) NEAR/3 (cycl* OR storage OR sequest* OR balance OR sink OR source OR stock* OR terrest* OR "soil organic carbon" OR SOC OR "soil organic matter" OR SOM OR emission OR uptake OR flux) AND (Soil OR peat) NEAR/5 carbon

AND

("urban green space*" OR "green infrastructure*" OR "urban tree*" OR (Park OR parks) OR garden* OR allotment* OR "physical development*" OR "human activit*" OR itree* OR "green roof*" OR "urban garden*" OR "domestic garden*" OR brownspace* OR "urban lawn*" OR "urban meadow*") OR (Forest* OR "deforest*" OR "swamp forest*" OR coniferous OR "broad leaved" OR deciduous OR woodland OR LULUCF) OR (Wetland* OR Peat* OR Mire* OR Bog* OR Histosol OR (Fen OR fens) OR swamp* OR marsh*) OR (Grassland* OR Meadow* OR "open landscape*" OR pasture* OR heath* OR shrub* OR (moor OR moors) OR Calluna)

For å begrense søket geografisk satte vi treffene fra søkestrengen over sammen med emneordene "norway OR norwegian OR sweden OR swedish OR finland OR finnish OR england OR english OR "United Kingdom" OR "Great Britain" OR british OR Scotland OR scottish OR Ireland

OR irish OR wales OR welsh OR Scandinavia* OR Fennoscand* OR UK OR boreal* OR sub-boreal OR hemiboreal OR boreonemoral”.

Dette resulterte i 2342 artikler, inkludert alle våre fem benchmark-artikler. Referansene ble eksportert over til screening-verktøyet Rayyan (<https://www.rayyan.ai/>) for videre gjennomgang. Ved å søke på denne måten fanges det alltid opp en stor mengde irrelevant litteratur, og det er en omfattende jobb å gå gjennom materialet for å identifisere relevante arbeider. Tre forskere utførte den første runden med gjennomsyn.

2.2 Vurdering av resultat

Under første runde med gjennomsyn ble bare tittel og sammendrag lest for relevans og utelukkingskriterier. Artiklene som ble ekskludert i denne runden var blant annet artikler som var utenfor det ønskede geografiske området, inkludert Arktis og områder med permafrost, og artikler som omhandlet jordbruksmark, marine økosystemer eller ferskvann. Artikler som bare omhandlet karbonlagrene over bakken, bare handlet om utslipp og opptak av karbon i jordsmonn, eller handlet om organisk karbon oppløst i vann ble også utelukket. Det var mange artikler som omhandlet utslipp og opptak av karbon i jordsmonn, og selv om dette er svært relevant for karbonlagring i jord så er det meget utfordrende og tidkrevende å sammenligne disse tallene og regne ut hvor stort karbonlager dette tilsvarer per areal. Dette er fordi det er rapportert på mange forskjellige måter og fordi prosessene som ligger bak utslipp og opptak av karbon i jord er kompliserte og delvis utilstrekkelig forsket på. Innenfor rammen av prosjektet ville en vurdering av disse ikke vært mulig, samtidig som andre relevante aspekter ville blitt neglisjert. Derfor konsentrerte vi oss om å levere en god kvalitetsvurdering på litteratur om jordkarbon, som vi oppfatter er av størst interesse for oppdragsgiverne.

Av de 294 artiklene som var igjen etter den første gjennomgangen handlet de fleste om skogsøkosystemer (157 artikler). Det var 45 artikler som handlet om våtmark, 52 handlet om åpen fastmark (herav 18 lynghei og 34 annen semi-naturlig mark), og bare 13 omhandlet urbane områder. Resten av artiklene dreide seg om karbonlagrene på et høyere nivå, og det var derfor vanskelig å knytte dem til et spesifikt økosystem. Noen av artiklene beskrev karbonlagrene i jordsmonn i flere av økosystemene. Generelt er det få artikler skrevet om karbonlagring i jordsmonn i norske økosystemer.

3 Typifisering av arealkategorier og vurdering av tilgjengelige kartlag

Det finnes ikke et landsdekkende jordkarbonkart for Norge per i dag. Estimering av karbon som er lagret i jord i terrestriske økosystemer på kommunenivå må derfor basere seg på beste tilgjengelige kart over økosystemene og koble dette opp mot det vi vet om karbonlagrene i disse økosystemene.

3.1 Typifisering av økosystemer

For å finne ut av hvilke arealer som har de største karbonlagre knyttet til jord i kommunene Bergen, Oslo, Stavanger og Trondheim er det nødvendig å koble arealtypene i kommunene til mengden jordkarbon disse økosystemene kan ha, basert på data fra litteraturstudien. I denne rapporten har vi klassifisert de naturlige, semi-naturlige og urbane økosystemene, og sammenstilt tilgjengelig kunnskap om karbonlagre for disse (se kapittel 4). Vi har ikke sammenstilt kunnskap for jordbruksmark (med unntak for arealer som er blitt tilplantet med trær) eller ferskvann, men følger ellers Framstad et al. (2022) og Eurostat i typifisering av areal (**Tabell 1**).

Tabell 1. Typifisering av økosystem i Framstad et al. (2022), Eurostat og i denne rapporten.

	Nivå 2 Framstad	Eurostat	Økosystemer i denne rapporten
Urbane områder	Byer, samferdsel, kunstig mark	1 Settlements and other artificial areas	Gressdominerte urbane områder Tredominerte urbane områder Urbant spredt tresatt gressmark Urban hage (kolonihage etc.)
Skog	Skog på fastmark	4 Forest and woodland	Furuskog Granskog Barskog Blandingsskog Boreal løvskog Edelløvskog Påskoget fastmark ¹
	Skog på våtmark	4 Forest and woodland	Våtmarksskog Tresatt grøftet våtmark
Åpen fastmark	Åpen heipreget fastmark	5 Heathland and shrub	Åpen heipreget fastmark i fjellet Åpen heipreget fastmark i lavlandet
	Åpen engpreget fastmark	3 Grassland	Åpen engpreget fastmark (semi-naturlig mark og lite gjødslet beitemark)
Våtmark	Myr, kilde, åpen ferskvannsump	7 Inland wetland	Jordvannsump Nedbørsump - Høymyr - Terrengdekkende myr

¹ Påskoget fastmark er arealer av tidligere åpen fastmark (oppdyrket, innmarksbeite, seminaturlig eng og hei) som er tilplantet med trær, men ikke er dominert av skogsarter i felt- og bunnsjikt og heller ikke har et jordprofil som er typisk for skogsmark. Påskoget våtmark (tresatt grøftet våtmark) er skilt ut som en egen type.

For urbane områder skiller vi ut de som er gressdominerte fra de som er tredominerte, med en mellomform med spredt tresatt gressmark. Dette ble vurdert som en god inndeling både fordi det følger økosysteminndelingen ellers i rapporten, og fordi urbane grønnstrukturer også blir skilt på denne måten i litteraturen. Vi skiller også ut urban dyrking som egen type, fordi litteraturnomgangen viste at det er flere studier som er gjort spesifikt på dette økosystemet, på grunn av at den kan ha et større karbonlager enn dyrket mark utenfor byene.

Skog på fastmark (fastmarksskogsmark) er areal som i lang tid har hatt trær og der felt og bunnsjikt har typiske skogsarter. Gjengrodd eller tilplantet tidligere åpen mark eller skog på våtmark inngår ikke her. Påskoget fastmark er fastmarksareal som har vært brukt til jordbruksformål (i vid

forstand) tidligere og som er tilplantet eller gjengrodd med trær. Her inngår arealer med tilplantet/gjengrodd oppdyrket mark, beitemark, semi-naturlig eng, kystlynghei etc. Disse arealene er i både AR5 og andre SR16-vektorkart ofte klassifisert som skog. Det er imidlertid store forskjeller i økologi og funksjon mellom påskoget fastmark og skog på fastmarkskogsmark. Herunder også forskjeller i karbonlagre. Basert på litteraturstudien (kapittel 2) er det klart at karbonlageret i bakken er vesentlig høyere i skog på grøftet torvmark enn i skog på fastmark. Det er derfor vesentlig å skille ut skog på våtmark fra fastmarkskogen for å kunne estimere karbonlager i tresatt mark på en god måte.

For åpen fastmark skiller vi ut åpen engpreget fastmark, åpen heipreget fastmark i fjellet, og åpen heipreget fastmark i lavlandet. Engpreget fastmark er gressdominerte økosystem som i denne rapporten inkluderer bare ikke eller lite gjødslet slåttemark og beitemark for å utelukke dyrket mark. Heipreget fastmark ble skilt i to grupper fordi de også kan skilles lett fra hverandre på kart, og fordi litteraturen også omhandler begge økosytemer.

Myr deles i to hovedtyper, nedbørsmyr (ombrogen myr) og jordvannsmyr (minerogen myr). Nedbørsmyr får all vanntilførsel fra regn, det gjør at de er næringsfattige med en vegetasjon som består av lite næringskrevende arter. Nedbørsmyr har ofte dyp torv med langsom karbonomsetning. Jordvannsmyr derimot får vann fra både regn og grunnvann som kan være rikt på mineraler og næringsstoffer, det kommer an på berggrunnen. Disse myrene kan derfor ha alt fra næringsfattig til næringskrevende vegetasjon med høyt biologisk mangfold. Jordvannsmyr er ofte grunnere enn nedbørsmyr og spesielt næringsrik myr har tynn torv fordi det er få eller ingen torvmoser der. Torvmosene (*Sphagnum*) er de største torvprodusentene. Høgmyr er tydelig hvelvet (konveks form) ved at det er bygd opp en kuppel eller et platå av torv som er ombrogen i det øverste laget. Konsentrisk høymyr har en topp midt på myra mens eksentrisk høymyr har en topp på den ene siden. Høymyr inkluderer planmyr i denne rapporten. Terrengdekkende myrer blir dannet direkte på fastmark på grunn av mye nedbør og mildt klima, for eksempel på Vestlandet. Grunnen til at nedbørsmyr er delt opp i to typer er fordi det er bare disse to som er spesifisert i litteraturen med tanke på karbonlagrene.

3.2 Tilgjengelige kartlag og generelle mangler i kartgrunnlaget

For å ivareta karbonrike arealer, er det nødvendig å ha gode kart over økosystemene som er representert i kommunene. Det finnes ikke heldekkende kart over økosystemene i Norge og det er stor variasjon i dekningsgraden av kart over de forskjellige økosystemene. Utbredelsen til disse økosystemene må derfor hentes fra en rekke forskjellige kartlag og det er stor variasjon mellom hovedtyper for hvor detaljerte kartdata som finnes tilgjengelig. Økosystemet vi har best kjennskap til er skog, mens data over utbredelsen av forskjellige myrtyper, eng- og heipreget fastmark og urbane grønne områder er dårligere. En oversikt over de viktigste kartlagene for beregning av utbredelse av arealtypene er gjengitt i **Tabell 2**.

Skog på fastmark

Skog på fastmark er økosystemet vi har best kartgrunnlag for i Norge (se **Tabell 2**) og her er det mulig å lage kart for sannsynlig karbonlagrene i jord. Mengden karbon i skogsjord avhenger av flere faktorer og vi har valgt å dele opp skogen basert på treslagsdominans, da dette er en oppdeling som er hyppig brukt og som derfor kan gi data på jordkarbon på et mer detaljert nivå enn bare på hovedøkosystemnivå. Bonitet (produksjonsevne) er en annen måte å dele opp skog-økosystemene, men en slik oppdeling av skogen, basert på bonitet i litteraturstudien, ville ikke ha gitt den detaljerte informasjonen som vi ønsket å presentere. Det kartgrunnlaget som samsvarer best med de økosystemer av skog som vi har sammenstilt jordkarbondata for er SR16 vektor-kartene fra NIBIO (NIBIO 2023). SR16-kartene er heldekkende for arealet som er klassifisert som skogsmark i AR5 av NIBIO. Kartlaget inneholder imidlertid *ikke* kun skog som regnes som fastmarkskogsmark etter klassifiseringssystemet Natur i Norge, men også grøftet våtmarkskog og tresatte arealer på tidligere jordbruksareal, semi-naturlig mark og hei (påskoget fastmark). Da det er store forskjeller i karboninnhold i fastmarksskog og våtmarksskog vil det være

viktig å trekke fra arealer med våtmarksskog fra SR16-kartene. Det anbefales å bruke digitalt markslagskart (DMK) over «[Nyttbar myr og torvmark](#)» for å skille ut våtmarksskogen fra fastmarksskogen (Bjørndal et al. 2004). Det kan også vurderes å trekke fra areal som i DMK Markslagskart er tilleggsklassifisert (TSKOG) som mindre økonomisk drivverdig (se **Tabell 2**). DMK-kartene oppdateres ikke og kan inneholde feil og mangler, men gir likevel et forbedret kunnskapsgrunnlag dersom de brukes riktig. Kartene er ikke tilgjengelig uten nedlastningstillatelse fra NIBIO og har ikke vært tilgjengelige for analyser i prosjektet.

Påskoget fastmark

Areal som er klassifisert i kartlaget DMK FREG som innmarksbeite, overflatedyrket mark eller tungbrukt og mindre lettbrukt fulldyrka jord kan ha blitt tilplantet og derfor klassifisert som skog i nyere arealstatistikk. Som utgangspunkt for å kartfeste sannsynlige arealer med påskoget fastmark er det mulig å bruke DMK TSKOG for grunnlendt mark, grunnlendt mark med feil bartreslag, grunnlendt mark på tvilsom skogreinsingsmark og tvilsom skogreisingsmark (Bjørndal et al. 2004), som i dag er klassifisert som skog.

Skog på våtmark

Arealgrunnlaget for skog på våtmark er sprikende og svært avhengig av hvilke kartlag som blir brukt. Dette er grundig dokumentert og diskutert i Joosten mfl. (2015). Tresatt grøftet torvmark har store og til dels urapporterte karbonutslipp fra nedbryting av organisk materiale (Joosten et al. 2015). Det bør prioriteres å få god oversikt over disse arealene både fordi de har store karbonlager per arealenhet og fordi de kan egne seg for restaurering med hensyn både til karbonlager, karbonutslipp og naturmangfold.

DMK markslagskart med tilleggsklassifikasjon for skogreisingsmark (TSKOG og DMK Myrinformasjon for Nyttbar myr og torvmark; (Bjørndal et al. 2004, Bjørndal 2007)), som overlapper med SR16 vektor-kart for skog (NIBIO 2023), kan gi en forbedret kartoversikt over skog på våtmark sammenlignet med det som finnes tilgjengelig i nedlastbare kart i dag. Tresatt grøftet torvmark kan også identifiseres basert på bakgrunn av tresatte arealer med synlige grøfter. Det finnes per i dag ikke et dekkende grøftekart for skog eller myr i Norge, men det gjøres forsøk på å etablere slike ved hjelp av detaljerte terrengmodeller og dyplæring, for eksempel i prosjektet DeepDitch (Jansson et al. 2023). Det finnes også arealstatistikk og grove forekomstkart over fuktskog og sumpskog i NIBIO og SSBs fylkesvise arealregnskap for utmark (Hofsten et al. 2015, Hofsten et al. 2017, Hofsten et al. 2019).

Åpen våtmark

Åpen våtmark har store karbonlager, og dette gjelder særlig arealer med nedbørsmyr. Joosten mfl. (2015) anslår et opprinnelig myrareal (inkludert tresatt myr) i Norge på nesten 45 000 kvadratkilometer, basert på data fra Arealregnskap for utmark og informasjon om areal som er grøftet til jordbruks- eller skogbruksproduksjon. Dessverre gir de heldekkende myrkartene vi har i Norge i dag veldig forskjellige svar på hvor det er åpen våtmark og hvor mye åpen våtmark vi har. Nasjonalt arealanslag varierer mellom ca. 15 000 kvadratkilometer og 30 000 kvadratkilometer (Joosten et al. 2015). Prosjektet «Arealregnskap for utmark» deler opp åpen myr i typene grasmyr, rismyr, bjønnskjeeggmyr og blautmyr. Kunnskap om utbredelse og arealomfang av disse finnes i fylkesvise rapporter (Hofsten et al. 2015, Hofsten et al. 2017, Hofsten et al. 2019). Arealet jordvannsmyr samsvarer omtrent med typene grasmyr, blautmyr og bjønnskjeeggmyr (kun fattigste deler av jordvannsmyr). Nedbørsmyr omfatter høymyr (rismyr) og terrengdekkende myr (rismyr og bjønnskeggmyr).

AR5 er et heldekkende, men ufullstendig kartgrunnlag for åpen våtmark i Norge, og inneholder ikke data på hvilke areal som er nedbørsmyrer og hvilke areal som er jordvannsmyrer. Da det er store forskjeller i karbonlager i nedbørsmyr og jordvannsmyr er dette en stor svakhet ved kartgrunnlaget. Et nyutviklet våtmarkskart (Bakkestuen et al. 2023) er publisert for Sør-Norge og under produksjon for Nord-Norge. Denne kartmodellen gir et bedre anslag på åpen våtmark i Norge, men skiller heller ikke på nedbørsmyr og jordvannsmyr.

Grøftet våtmark har store karbonutslipp (Mäkipää et al. 2023), men det finnes ikke en god og oppdatert oversikt over grøftet åpen våtmark i Norge. Slike arealer kan identifiseres basert på modellerte våtmarkskart i kombinasjon med heldekkende grøftkart. Det finnes imidlertid ikke fullstendige og heldekkende grøftkart for åpen våtmark i Norge, men det gjøres forsøk på å etablere slike med hjelp av detaljerte terrengmodeller og dypmåling, for eksempel i prosjektet DeepDitch (Jansson et al. 2023).

Det beste kartgrunnlaget for åpen våtmark, som også skiller noe mellom jordvannsmyr og nedbørsmyr kan utvikles gjennom å bruke informasjon fra DMK Myrinformasjon som skiller mellom grunn og dyp myr samt mellom nøysom og ikke nøysom myr i kombinasjon med terrengmodeller. En forenklet måte for å kunne skille høymyr og terrengdekkende myr på kart kan være å skille ut som dyp myr med nøysom vegetasjon og terrengdekkende myr som grunn myr med nøysom vegetasjon. Øvrig myrareal kan antas å være jordvannsmyr. Det vil imidlertid kreves en god del utvikling av dagens kartgrunnlag for å få på plass gode kart på kommunenivå over jordvannsmyr og nedbørsmyrtypene høymyr og terrengdekkende myr.

Åpen fastmark

Utbredelsen av åpen engpreget fastmark (ikke/lite gjødslet slåttemark og beitemark) finnes i noen grad i laget innmarksbeite i AR5, og som typene grunnlendt mark og annen jorddekt mark i DMK Markslagskart. Ellers finnes åpen engpreget fastmark som små avgrensede arealer etter kartlegging av biologisk viktig semi-naturlig mark, slåttemark, naturbeitemark og engaktig sterk endret fastmark (MI-instruks, DN-Håndbok 13 og heldekkende NiN-kartlegging i verneområder).

Åpen heipreget mark i lavlandet samsvarer i stor grad med arealer kartlagt som kystlynghei og med DMK markslagskart klassifisert som grunnlendt mark og annen jorddekt fastmark. Åpen heipreget mark i fjellet samsvarer i stor grad med (ikke tresatt) boreal hei, og en rekke typer av fjellhei, leside og tundra samt snøleier (MI-instruks i heldekkende NiN-kartlegging) og av DMK markslagskart med annen jorddekt fastmark over tregrensen.

Urbane grøntareal

Utbredelsen av urbane arealer finnes i AR5 (bebyggd areal), men uten detaljering knyttet til grøntarealer, parker, trær og hager. Grønnstruktur er også kartfestet som eget arealformål i arealdelen til kommuneplanene. Disse er heller ikke detaljert nok til å gi data for forskjellige typer urbane grøntområder. I Oslo er den urbane naturen kartlagt med høyere detaljeringsgrad (**Tabell 2** og kapittel 3.3).

Tabell 2. Oversikt over hvilke kartlag som kan brukes for å koble økosystemene i denne rapporten med data på karbon i jord fra litteraturstudien. Hovedøkosystem inndeling følger Framstad et al. 2022 nivå 2, eller nivå 1 der det ikke finnes tilstrekkelig datagrunnlag i dag.

Dataeier	Kode/fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
NIBIO	AR5	AR5 er et heldekkende vektorbasert arealressurdsdatasett som beskriver alt areal ved hjelp av fire egenskaper; arealtype, treslag, skogbonitet og grunnforhold.	Ja	Skog på fastmark (skog på våtmark og påskoget fastmark kan også inngå). Våtmark Åpen engpreget fastmark Åpen heipreget fastmark Urbane områder	Barskog Lauvskog Blandingsskog Skog (uten videre inndeling) Myr (uten videre inndeling) Åpen fastmark (uten videre inndeling) Åpen engpreget fastmark Bebyggd (urbane områder)	Alle
NIBIO	SR16R og SR16V	SR16 er et heldekkende datasett som gir oversikt over utbredelsen og egenskaper ved landets skogressurser. Datasettet er fremstilt gjennom automatiske prosesser som en kombinasjon av eksisterende kart (AR5), terrengmodeller, 3D fjernmålingsdata (fotogrammetri og laser) og landsskogflater. SR16 er fremstilt som et pikselkart (16 x 16 meter) og som et vektorkart som generaliserer pikselkartet til større figurer (polygoner) av relativ homogen skog. Gir informasjon om treslagsdominanse i skog. Gir også estimater for underjordisk biomasse i skog (ikke jordkarbon).	Ja, men dekker kun skog	Skog på fastmark (skog på våtmark og påskoget fastmark kan også inngå).	Barskog (barblanding) Grandominert skog Furudominert skog Blandingsskog Lauvdominert skog Gir også estimater for underjordisk biomasse i skog (ikke jordkarbon).	Alle
Landbruksdirektoratet/NIBIO	Skogbruksplan	Skogbruksplan - Hogstklasser og aldersklasser. Tjenesten leverer informasjon om hogstklasser og aldersklasser for den eldste skogen basert på data fra skogbruksplanlegging.	Nei	Skog på fastmark (skog på våtmark og påskoget fastmark kan også inngå).	Tilsvarende ikke direkte noen økosystemer i rapporten, men kan gi informasjon om fordeling av skogalder i kommunene, som kan vurderes koblet opp mot karboninnhold i skog med forskjellig alder.	Alle
NMBU/Miljødirektoratet	SØG	Below-ground tree biomass fra Skogøkologisk grunnkart https://nmbuskogover.users.earthengine.app/view/sog2022	Ja, men dekker kun skog	Skog på fastmark (skog på våtmark og påskoget fastmark kan også inngå).	Gir blant annet estimater for karbon i biomasse under bakken (trærnes rotsystemer, ikke jordkarbon) for alt skogdekket areal i Norge.	Alle
Miljødirektoratet	MInaturtyper	Naturtyper kartlagt etter Miljødirektoratets instruks, basert på systemet Natur i Norge (NiN). Utvalgskartlegging med fokus på økosystemer som er viktige for	Nei	Skog på fastmark, Skog på våtmark Åpen våtmark	Mange naturtyper i Miljødirektoratets instruks (https://www.miljodirektoratet.no/p	Alle

Dataeier	Kode/ fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
		bevaring av naturmangfold. Ikke fokus på karbon i jord.		Åpen engpreget fastmark Åpen heipreget fastmark Fjell	<p>ublikasjoner/2022/januar/kartleggingsinstruks-kartlegging-av-terrestriske-naturtyper-etter-nin/) samsvarer helt eller delvis med øko-systemer i denne rapporten. Datasettet er ikke heldekkende.</p> <p>Åpen engpreget fastmark samsvarer i stor grad med typene semi-naturlig eng, naturbeitemark, slåttemark, åpen grunnlendt kalkkrik mark og engaktig sterk endret fastmark som dekker små arealer i Norge i dag.</p> <p>Åpen heipreget mark i lavlandet samsvarer i stor grad med arealer kartlagt som kystlynghei.</p> <p>Åpen heipreget mark i fjellet samsvarer i stor grad med boreal hei (dersom den ikke er tresatt) og en rekke typer av fjellhei, leside og tundra samt snøleier.</p>	
Miljødirektoratet/ Artsdatabanken	NiN	<p>Heldekkende NiN-typer innenfor utvalgte verneområder.</p> <p>Stavanger: Gausel NR, Nordre Rennesøy DFO, Bjargvatnet NR, Førsvollvatna NR, Hauskjevattnet NR, Nord-Talgje NR, Eikåsen NR, Lundarsøyla NR, Nesheim NR.</p> <p>Bergen: Hisdalen NR, Rambjøra LVO, Nesvika NR, Reppadalen NR, Kråmyrane NR.</p> <p>Trondheim: Tangvolla NR, Kongslin NR, Bjørnmyra NR, Leira NR, Rørmyra NR, Gaulosen NR, Laugolia NR, Apoteket NR, Bymarka NR.</p> <p>Oslo: Maridalen LVO, Blankvann LVO, Karussputten NR, Lørensetertjern NR, Triungsvann NR, Lillomarka NR, Røverkollen NR, Østensjøvannet NR, Ekebergskråningen NR, Prinsesseåsen NR, Dronningberget NR, Store Herbern NR, Nakholmen NR,</p>	Ja, men kun i utvalgte verneområder	Skog på fastmark, Skog på våtmark Påskoget fastmark Åpen våtmark Åpen engpreget fastmark Åpen heipreget fastmark Fjell	NiN-typer med beskrivelsesvariabler kartlagt i verneområdene kan oversettes til økosystemene brukt i rapporten. https://artsdatabanken.no/NiN/Natursystem/Typeinndeling	Alle

Dataeier	Kode/fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
		Lindøya NR, Heggholmen NR, Gressholmen-Ramberholmen NR, Hovedøya LVO, Bleikøya NR, Nordre Malmøya NR, Malmøya og Malmøykalven NR, Padda NR.				
Miljødirektoratet	DN-13 Naturtyper	Naturtyper kartlagte etter DN-Håndbok 13. Utvalgskartlegging med fokus på naturtyper som er viktige for bevaring av naturmangfold. Ikke fokus på karbon i jord.	Nei	Skog på fastmark, Skog på våtmark Åpen våtmark Åpen engpreget fastmark Åpen heipreget fastmark Fjell	Mange naturtyper i DN-Håndbok 13 samsvarer helt eller delvis med økosystemer i denne rapporten. Datasettet er ikke heldekkende. Åpen engpreget fastmark samsvarer i stor grad med typene Naturbeitemark og Slåttemark som dekker små arealer i Norge i dag. Åpen heipreget mark i lavlandet samsvarer i stor grad med arealer kartlagt som Kystlynghei.	Alle
NIBIO	MiS	Miljøregistreringer i skog. Skogbrukets registreringssystem for lokaliteter med biologisk mangfold i skog. Utvalgskartlegging med fokus på livsmiljøer som er viktige for artsmangfoldet. Ikke fokus på karbon i jord.	Nei	Skog på fastmark Skog på våtmark	Datasettet vil vanskelig kunne brukes for estimering av jordkarbon.	Alle
NINA	Våtmarksmodell	Modellerte kart for utbredelse av våtmark i Norge (Bakkestuen og Venter 2023). Remote Sensing Free Full-Text Delineation of Wetland Areas in South Norway from Sentinel-2 Imagery and LIDAR Using TensorFlow, U-Net, and Google Earth Engine (mdpi.com)	Ja, men kun publisert for Sør-Norge foreløpig.	Åpen våtmark	Åpen våtmark (uten videre oppdeling)	Oslo, Bergen, Stavanger
NIBIO	DMK: Myrinformasjon	Digitalt markslagskart (DMK) inneholder informasjon om jordtyper, myregenskaper, og detaljert informasjon om produksjonspotensial for skog (bonitet). Data oppdateres ikke lenger og kartlagene er erstattet av de grovere kartene FKB-AR5 og FKB Dyrkbar jord. DMK myr inneholder informasjon om torvdybde, vegetasjon (nøysom/ikke nøysom) og torvas omdanningsgrad. Areal som er klassifisert som myr i AR5 er i DMK klassifisert som dyp eller grunn (eller ukjent dybde). Areal som er klassifisert som skog i AR5 kan inneholde myrinformasjon i DMK om arealet ligger på myr	Ja, for generelt fastland og øyer under treghensen.	Åpen våtmark Skog på våtmark	Åpen våtmark (grunn myr) Åpen våtmark (dyp myr) Høymyr (deler av nøysom myr) Terrengdekkende myr (deler av nøysom myr) Tresatt grøftet våtmark (grunn myr) Tresatt grøftet våtmark (dyp myr)	Alle

Dataeier	Kode/ fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
		eller torvmark og er vurdert som nyttbart for jordbruk eller skogbruk (Nyttbar myr og torvmark). Kartdata i DMK blir ikke oppdatert og kartlagene kan inneholde foreldet informasjon.				
NIBIO	DMK TSKOG	Tilleggsklassifisering av skog og skogreisingsmark. Arealtyper basert på spesielle egenskaper som reduserer den økonomiske verdien av arealet (mindre drivverdig eller mindre produktivt). Parameteren gir også opplysninger om kulturinngrep som kan øke produksjonsevnen på arealet, f.eks. treslagsskifte. Kan brukes for å skille ut fastmarkskogsmark fra våtmarkskog, tresatt grøftet torvmark og påskoget fastmark. DMK-kartene oppdateres ikke og kan inneholde feil. Kartene er ikke tilgjengelig uten nedlastningstillatelse fra NIBIO. NIBIO Brage: Kodeverk og symbolbruk i DMK og avleide produkt (unit.no)	Ja, men inneholder også klassen uklassifisert/ukjent arealtilstand.	Skog på våtmark Påskoget fastmark	Skog på våtmark/tresatt grøftet torvmark (Vassjuk skogsmark, Vassjuk mark med feil bartreslag) Påskoget fastmark (Grunnlendt mark, Grunnlendt mark med feil bartreslag, Grunnlendt mark på tvilsom skogreisingsmark, Tvilsom skogreisingsmark)	Alle
NIBIO	DMK FREG	Markslagsinndeling for jordregisteret der blant annet arealer som tidligere har vært brukt til jordbruk er registrert. Deler av arealet som har vært innmarksbeite, overflatedyrket eller tungbrukt og mindre lettbrukt fulldyrka jord kan ha blitt tilplantet og derfor klassifisert som skog i nyere arealstatistikk. DMK-kartene oppdateres ikke og kan inneholde feil. Kartene er ikke tilgjengelig uten nedlastningstillatelse fra NIBIO. NIBIO Brage: Kodeverk og symbolbruk i DMK og avleide produkt (unit.no)	Ja, men inneholder også klassen uklassifisert/ukjent arealtilstand.	Åpen fastmark Påskoget fastmark	Kan vurderes brukt for å skille ut påskoget fastmark fra fastmarkskogsmark.	Alle
NIBIO	DMK Marks- lag (åpen fast- mark)	DMK er et eldre markslagskart med mer detaljerte oppdelinger enn AR5. Kartet oppdateres ikke og kan derfor inneholde arealer som er feilklassifiserte i dag. Markslagets arealtilstand gir en god indikasjon på hvilken type mark dette gjelder. Inneholder alt fra skog og myr til naturlig åpne og menneskeskapt åpne areal. Her viser vi til lagene som kan inneholde informasjon om åpen fastmark som ikke vises i AR5. Kartene krever søknad for å gjøres tilgjengelige. NIBIO Brage: Kodeverk og symbolbruk i DMK og avleide produkt (unit.no)	Ja, men inneholder også klassen uklassifisert/ukjent arealtilstand.	Åpen fastmark	Annen jorddekt fastmark (Åpen heivegetasjon i lavlandet, Åpen heivegetasjon i fjellet) Grunnlendt mark (Åpen heivegetasjon i lavlandet, Åpen heivegetasjon i fjellet)	Alle
NINA	Urban atlas	Bynatur Atlas finnes utviklet for Oslo kommune, med avgrensninger av grønnstruktur og andre arealbruk. urban-nature-atlas (earthengine.app)	Ja, men kun i Oslo.	Urbane områder	Gressdominerte urbane områder (gress)	Oslo

Dataeier	Kode/fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
		Arealdekk klassene skog, gress og tette flater kan brukes for å skille mellom noen av de urbane typene vi bruker i rapporten. Karbonopptak av enkelte trær i Oslo har blitt modellert med i-Tree ECO (Cimburova & Barton 2020, Hanssen et al. 2019).			Tredominerte urbane områder («skog»)	
Oslo kommune/ NIBIO	Karbon og klimatilpasning	Karttjeneste for Karbon og klimatilpasning for Oslo kommune (Karbon og klimatilpasning i byggesonen (arcgis.com)) Grønnstruktur/vegetasjon er klassifisert i fire klasser fra ingen/lite vegetasjon til svært mye vegetasjon, som delvis kan brukes for å skille mellom typene vi bruker i rapporten. Økt kunnskap om karbonlagring og klimatilpasning i byggesonen (klimaoslo.no)	Ja, men kun for Oslo kommune	Urbane områder	Gressdominerte urbane områder (noe vegetasjon) Tredominerte urbane områder (mye/svært mye vegetasjon) Spredt tresatt gressmark (mye vegetasjon) Urban dyrking (noe/mye vegetasjon)	Oslo
Statsforvalteren i Rogaland, Rogaland Fylkeskommune, Kartverket Rogaland mfl.	Karbonrike areal	«Temakart Rogaland (Temakart-Rogaland) er ei kartteneste fra Statsforvalteren i Rogaland, Rogaland fylkeskommune, Kartverket og ei rekkje andre partar i samarbeidet "Norge digitalt-Rogaland". Karbonrike areal: Høybonitet skog samt myr inneholder store lagre av karbon. Utbygging på slike areal kan medføre betydelige klimagassutslipp og reduserer potensielt framtidig opptak av karbon på arealet. Slike areal har også ofte verdi for andre samfunnsinteresser, for eksempel naturmangfold, klimatilpasning, friluftsliv, folkehelse og kulturmiljø. Her har vi sammenstilt tilgjengelig kartinformasjon fra NIBIO og Mdir på myr og skog.» Karttjenesten viser kartlag som er produsert av andre og inneholder ikke data på beregnede karbonlager.	Ja og nei. Viser forskjellige typer data med informasjon og skog og myr, noen fra heldekkende kartlag, andre fra utvalgskartlegging,	Skog på fastmark Skog på våtmark Våtmark	Skog (delt opp på bonitet, ikke treslag) Våtmarkskog Åpen våtmark	Stavanger
NINA	Grønnstruktur	Kart av arealdekke og vegetasjon basert på AR5, Sentinel 1 og 2, LIDAR. Det gir (i) en bedre oppløsning av grønne strukturer enn AR5 i byggesonen, (ii) kan skille ut trær av ulik høyde (størrelse), (iii) skiller ut typer under «åpen fastmark i AR5» som gressdominert vs. annen åpen vegetasjon ikke-gress dominert. Kartdata i ESTIMAP verktøy skiller ut grønnstrukturer i byggesonen med verdi for pollinerende insekter (Stange et al. 2019).	Ja	Skog Åpen fastmark Urbane områder	Skog (uten videre inndeling) Åpen fastmark (gressdominert vs. dominert av annen åpen vegetasjon). Bebyggd (urbane områder) Gressdominerte urbane områder Tredominerte urbane områder Urbant spredt tresatt gressmark	
Rogaland Fylkeskommune	Karbonkart	Kart over mer eller mindre karbonrike arealer i Rogaland basert på AR5	Ja, for Rogaland	Skog på fastmark Skog på våtmark Våtmark	Viser karbonrike areal basert på AR5. Viser ikke areal typer av skog eller våtmark.	Stavanger

Dataeier	Kode/ fork.	Tema/datasett og beskrivelse	Heldekkende for temaet	Hovedøkosystem	Kartlag som samsvarer med økosystemer i denne rapporten	Kommune
Bergen	Grønn- struktur	Kant over grønnstrukturarealer i tettsteder i Bergen kommune: https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/#/bergenskart/apps/1ab60010d94c4f7b9c29f00caaf7c86e/explore	Ja, i Bergen.	Urbane områder	Urban natur (uten videre oppdeling)	Bergen
Trondheim kommune		Masterprosjekt om endring av myrareal basert på AR5 eller DMK. Kaja Stamer-Ekerholt	Som AR5 og DMK	Åpen våtmark Skog på våtmark	Som AR5 og DMK	Trondheim

3.3 Spesifikk kunnskap og mangler i kommunene

Per i dag har alle kommuner tilgang til arealressurskart via GeoNorge FKB (Felles kart database)-AR5. Kartlaget viser hovedtyper av arealressurser i områder under skoggrensen. Arealtyper er klassifisert på grunnlag av kriterier for vegetasjon, naturlig drenering og kulturpåvirkning. Datasettet er tilpasset bruk i målestokker fra 1:1000 og oppover. AR5 er avledet fra tidligere markslag i Økonomisk kartverk. Egenskapsverdier i henhold til kodelisten er: 11 - Bebygd; 12 - Samferdsel; 21 - Fulldyrka jord, 22 - Overflatedyrka jord; 23 - Innmarksbeite; 30 - Skog; 50 - Åpen fastmark; 60 - Myr; 70 - Snølsbre; 81 - Ferskvann; 82 - Hav; 99 - Ikke kartlagt. Areal mindre enn to dekar blir vanligvis ikke skilt ut som egen figur. Jordbruksareal skilles ut ned til 0,5 dekar (Geonorge 2016).

FKB-AR5 har noen begrensninger som grunnlag for å lage regnskap på karbonlagre hos økosystemer. Dette påvirker også muligheten for å bruke AR5 som kunnskapsgrunnlag for karbonlager ved beslutninger om arealdisponering f.eks. i kommunenes arealplaner eller ved konsekvensutredninger. Noen av disse begrensningene er:

- AR5 data dekker ikke arealer over skoggrensen. Det kan være en av grunnene til at f.eks. arealet over myr er betydelig underrepresentert i AR5-kart (Bakkestuen et al. 2023).
- Fjelløkosystemer/naturtyper differensieres ikke.
- Oppløsning på kartfigurene er høyere hos arealtypene knyttet til jordbruk enn i andre økosystemer. Det er imidlertid ikke tilstrekkelig for å fange opp viktige naturtyper med små arealer (som de knyttet til kulturlandskap) og grønnstrukturer i bebygde områder.
- Oppdatering av AR5 data skjer hvert 5-8 år, men i varierende grad.
- Inndeling av arealklasser er i første rekke basert på arealenes bruk snarere enn arealenes økologiske egenskaper. Det er derfor utfordrende å knytte økologiske informasjon som data om karbonlager til arealtypene. Det har f.eks. stor betydning for karbonlageret om en eng er beitet, gjødslet, og/eller inngår i et rotasjonssystem.

Andre kartlegginger og pågående utviklingsarbeid kan komplettere og utfylle manglene i FKB-AR5 data.

- Kartlegging av naturtyper etter Miljødirektoratets kartleggingsinstruks som følger NiN (Naturtyper i Norge) og etter DN-Håndbok 13 og 19. Målsetting med disse kartleggingene er å identifisere viktige naturtyper/økosystemer for naturmangfoldet og som kulturlandskapselementer. Utfordringene med utvalgskartlegging er at det ikke genererer arealdekkende kart. Både utvalgskartlegging og heldekkende NiN-kartlegging er ressurskrevende og kan derfor ikke oppdateres ofte nok for å fange opp endringer i arealdisponering.
- Utvikling av et kart over Norges hovedøkosystemer. Miljødirektoratet har gitt i oppdrag til NIBIO, med kvalitetssikring av NINA, å produsere et foreløpig arealdekkende kart over hovedøkosystemer i Norge basert på AR5 og andre kartressurser (f.eks. de i Bakkestuen et al. 2023). Det foreløpige hovedøkosystemkartet kommer til å bli ferdig i 2023.
- I byer utgjør kart over friluftsområder et spesielt nyttig kartgrunnlag over grønnstrukturer. Begrensninger ved disse kartene er at de ikke oppdateres regelmessig og at arealene er karakterisert etter bruk og ikke etter fysiske egenskaper som kan kobles til f.eks. karbonlagrene.
- Utvikling av nye kart som kombinerer informasjon om arealer ved bruk av eksisterende kartdata, fjernmålingsdata, klimatiske data, bakkesannheter/observasjoner, ortofoto, kunstig intelligens, og modellering. En kombinasjon av slike tilnærminger kan kompensere for mange av manglene i AR5, og har allerede blitt brukt for å lage mer fullstendige kart over grønnstrukturer i byer (e.g. Cimburova & Barton 2020, Cimburova & Barton 2021, Stange et al. 2019), myr (Bakkestuen et al. 2023), og for åpne habitat under tregrensen (Venter et al. 2023).

Oslo kommune

I Oslo finnes modellerte data basert på fjernmåling som gir en god oversikt over grøntarealer, og som karakteriserer arealene med egenskaper som har relevans for karbonlager (dvs. vegetasjon med dominans av trær, gress eller blandet). Fra kart over ressurser for pollinerende insekter (Stange et al. 2017; ESTIMAP kart), kan man skille ut ulike typer av grøntarealer i byen (f.eks. kolonihager, parker) som også har betydning for karbonlageret. Generelt har Oslo gode kart over urban natur, inkludert grønne tak og annen grønnstruktur. Bytrær er også blitt kartlagt med LIDAR og kvalitetssikret (Soy-Massoni et al. 2018). Det er også gjort kartlegginger etter Miljødirektoratets kartleggingsinstruks (MI, basert på NiN) og DN-Håndbok 13 og 19. Flere prosjekter i Oslo har hatt fokus på å lage regnskap på grønninfrastrukturens utbredelse og funksjoner hvor karbonopptak har inngått (f.eks. Cimburova & Barton 2020). Disse dataene har delvis blitt tatt fram av Oslo kommune (søknad til Oslo Europeisk miljøhovedstad 2019 <https://www.oslo.kommune.no/miljo-og-klima/miljohovedstaden-2019/#gref>), og delvis i flere publikasjoner (Cimburova & Barton 2020, Cimburova & Barton 2021, Soy-Massoni et al. 2018, Suárez et al. 2020, Venter et al. 2020). I Oslo kommune er det utarbeidet kart over karbon og klimatilpasning i byggesonen (Mathiesen et al. 2022, Oslo kommune 2023) som gir grove estimater på utslipp ved utbygging basert på tilgjengelig kunnskap om vegetasjon.

Bergen kommune

Bergen kommune har ikke nok systematisk kunnskap om økosystemenes egenskaper til å kunne vurdere konsekvensene av utbygging på karbonlagre og utslipp. Kommunen har hatt samarbeid med Universitetet i Bergen som har målt karbonlagre over bakken og i jord i forskjellige skogstyper, myr, eng og lynghei (Barry et al. 2022). AR5-kartet er dårlig ajourført for Bergen der noen kartlegginger er fra 1970. Det er gjort kartlegginger som er utført etter Miljødirektoratets kartleggingsinstruks og DN-Håndbok 13 og 19, men totalt er det lite areal som er undersøkt for naturtyper. Bergen kommune har imidlertid tilgang til kart som viser lagre av organisk karbon i marine sedimenter. Dette omhandles ikke i denne rapporten (Mareano kart fra et nasjonalt kartleggingsprogram). Bergen kommune har kart over grønnstrukturarealer i tettsteder i kommunen (Bergen kommune 2018). En god del av metodene som har blitt utviklet for Oslo vil kunne brukes i Bergen for å forbedre datagrunnlaget over grønnstrukturer.

Trondheim kommune

Trondheim kommune har kartlagt grønnstrukturer i byggesonen etter retningslinjer for kartlegging og verdsetting av friluftsområder. Dette karakteriserer områdene etter bruk for rekreasjon og friluftsliv, men mangler informasjon om områdenes vegetasjon, og dermed er kunnskapsgrunnlag om karbonlagrene i byggesonen mangelfullt. Metodene brukt i Oslo og Stavanger kan brukes for å få en bedre beskrivelse av områdenes kvaliteter. Det finnes ellers geotekniske data fra byggesonen der torv og torvdybde er registrert. Naturtyper har blitt registrert etter DN-Håndbok 13 og 19 og Miljødirektoratets kartleggingsinstruks. Disse kartleggingene er ikke areal-dekkende. I tillegg har Trondheim kommune utført en utvidet kartlegging etter metodikken til DN-Håndbok 13 ved å inkludere naturtyper som blir sett på som verdifulle i lokal sammenheng. Spesielt i tettbebyggelsen er det lagt vekt på å få med områder med en viktig landskapsøkologisk funksjon. Kommunen har også et eldre treregister med oversikt over art, alder og tilstand. Dette registeret er under videreutvikling.

Stavanger kommune

Grønnstrukturen i Stavanger er delt inn i fire typer: (i) strandsonen (utmarksområdene og store fri- og utfartsområder) (ii) kulturlandskap (iii) nettverket av grønne korridorer og turforbindelser i byggesonen (iv) byggesonens parker og hager, lekeplasser, friområder og grønne byrom, trær og vegetasjon - det grønne nærmiljøet (Stavanger kommune 2022). Stavanger kommune har kartlagt naturtyper som er viktige for biologisk mangfold etter DN-Håndbok 13 og 19, samt etter Miljødirektoratets kartleggingsinstruks. I tillegg har Stavanger kommune kartlagt grønnstruktur i byggesonen som parker, alleer, kolonihager, enkeltrær, trærnes suksesjonsstatus, samt potensielt habitat for pollinerende insekter (Stange et al. 2019). Dette gir informasjon med høy oppløsning om områdenes vegetasjon, og kan kobles til data om karbonlager i byggesonen. I Stavanger finnes dessuten et kart over jordsmonn som gir særlig god dekning for landbruksområder.

4 Karbonlagrene i jord

4.1 Skog

Karbonlagring i skogsjord

Skogsjord har høy kapasitet for langtidslagring av karbon. Skogsjordens karbonlagre utvikler seg i en dynamisk balanse mellom tilførsel og tap av karbon. Trær tar opp karbon gjennom fotosyntese og overfører fotosyntetiske produkter under bakken til røttene og mykorrhiza-symbiontene. Dødt organisk materiale som stammer fra trær (strø og død ved) og andre planter, sopp, dyr og bakterier danner grunnlaget for organisk materiale i jorda, og tilfører karbon til jorda. Dette karbonet går delvis tapt til atmosfæren som CO₂ produsert ved heterotrofisk respirasjon av jordorganismer som styrer nedbrytningsprosessene. Det gjenværende karbonet forblir i jorda, og gir over tid oppbygging av stabilt karbon gjennom assimilering. Assimilering av karbon og den nært beslektede prosessen med jorddannelse foregår over tiår, og resulterer i store lagre av karbon i skogsjorda (Gobin et al. 2011). Disse karbonlagrene kan bli svært gamle, et eksempel viser en alder på ca. 2500 år på 1 m dyp (Clemmensen et al. 2013).

Den norske skogsjordas karbonlager er beregnet til 15 kg karbon per kvadratmeter ned til 1 m dybde (1 m³), noe som tilsvarer 3–4 ganger mer karbon enn biomassen til trær og annen vegetasjon (Søgaard et al. 2019). Karbonlagrene i jorda forventes å variere med bestandsalder, treslagssammensetning, bonitet, hydrologi og klima. Jordsmonn i boreal skog som er mer enn 200 år gammel er beregnet å inneholde i gjennomsnitt > 20 kg karbon per kvadratmeter, mens yngre boreale skoger (71–120 år) har en gjennomsnittlig karbonlager på ca. 10 kg karbon per kvadratmeter (Pregitzer & Euskirchen 2004). Det siste tilsvarer aldersspennet for slutthogst i Norge. Skoger som består av to eller flere treslag har en tendens til å ha høyere karbonlagre både i jorda alene, og i økosystemet som helhet, enn skog som består av kun ett treslag (Gamfeldt et al. 2013, Liu et al. 2018). Høyere bonitet betyr generelt høyere produktivitet som er forbundet med større tilførsel av karbon i jorda. Karbonlagrene i jorda avhenger også av fysiske egenskaper ved lokalitetene som f.eks. fuktighet, og tørr skog har mindre karbonlagre enn fuktig skog (Olsson et al. 2009). Karbonlagring i jorda øker også med temperaturen, sannsynligvis på grunn av høyere tilførsel av organisk materiale til jorda i produktive sørlige skoger i Norden, og potensielt også på grunn av redusert nedbrytningshastighet i sør. Nedbrytningen forventes å gå raskere i de varmere sørlige temperaturene på grunn av høyere mikrobiell aktivitet, men den har vist seg å gå langsommere enn forventet, antagelig på grunn av større avsetning av nitrogen i sør enn i nord i Norden (Framstad et al. 2013, Stendahl et al. 2010). I nord er produksjonen lavere og nedbrytningen går langsommere på grunn av lavere temperatur.

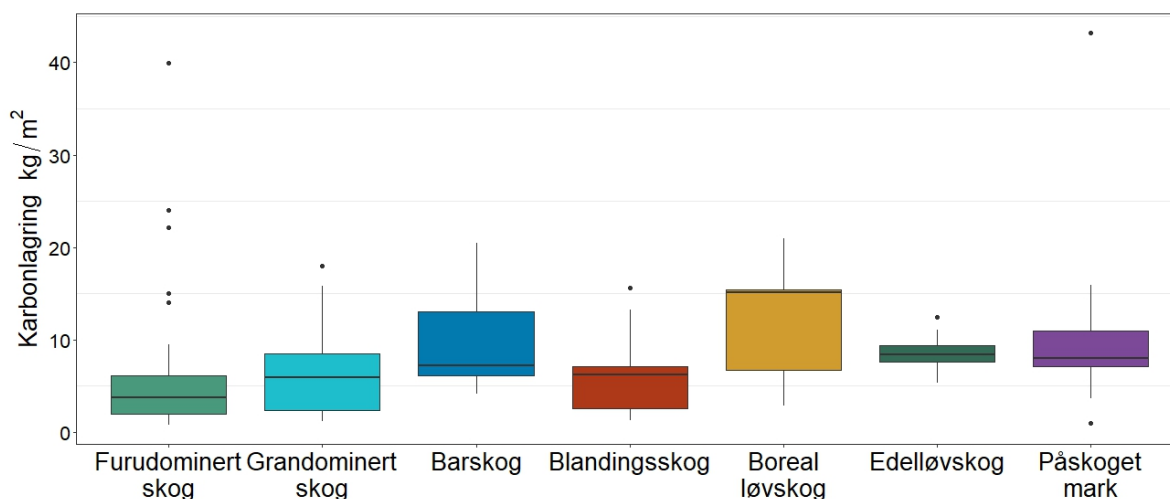
Variasjon i jordkarbonlageret

I litteraturen om jordkarbonlagre på skogkledd mark er det stor variasjon i prøvetakingsdybder, jordtyper, bonitet og klima. Det har ikke vært mulig å inkludere og diskutere alle disse variablene i detalj her. I mange tilfeller har ikke hele dybden av jordprofilen blitt inkludert i prøvetakingen, og de rapporterte verdiene presenterer følgelig minimumsestimater for de totale karbonlagrene i jorda. Verdier som oppgis i internasjonal litteratur er lavere enn det norske estimatet for karbonlagre i skogsjord (Søgaard et al. 2019), og sannsynligvis skyldes dette i hvert fall delvis at det norske estimatet er for hele jordprofilen ned til 1 m.

Tilgjengelig litteratur om karbonlagre i skogkledd økosystemer inkluderer mange (antall = 155) studier for skog på fastmark, og klart færre for påskoget mark (antall = 30) eller skog på våtmark (antall = 8). Ifølge vår litteraturgjennomgang var karbonlagrene rapportert for skog på våtmark mye høyere enn for skog på fastmark eller påskoget mark (**Tabell 3**). Der informasjon for skogtype for skog på fastmark er tilgjengelig (antall = 135), ser vi en økende trend i jordkarbonlagrene fra enkeltartede barskoger (monokulturer) via blandingsskog og barblandingsskog til løvdominerte skogbestander. Boreal løvskog har de største jordkarbonlagrene basert på tilgjengelige litteratur. Variasjonen i verdiene er imidlertid stor i alle skogstyper, og de høyeste rapporterte verdiene er fra furuskog.

Tabell 3. Karbonlagrene (kg karbon per kvadratmeter) i jord i ulike i skogtyper på fastmark og våtmark, samt i plantet skog på seminaturlig mark, jordbruksmark eller hei (påskoget mark). Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten.

Hovedøkosystem	Økosystem	Antall studier	Min.	25% Kvartil	Me-dian	75% kvartil	Maks.
Skog på fastmark	All skog på fastmark	155	0,8	2,8	6,0	9,2	39,9
	<i>Furudominert skog</i>	49	0,8	2,0	3,6	6,0	39,9
	<i>Grandominert skog</i>	51	1,1	2,3	5,7	8,5	18,0
	<i>Barskog</i>	8	4,1	6,1	7,2	13,0	20,5
	<i>Blandingsskog</i>	10	1,3	2,6	6,2	7,1	15,6
	<i>Boreal løvskog</i>	9	2,8	6,8	15,1	15,4	20,9
	<i>Edelløvskog</i>	8	5,3	7,6	8,4	9,4	12,5
Skog på våtmark	All skog på våtmark	8	2,6	16,8	24,7	63,0	110,0
	<i>Tresatt grøftet torvmark</i>	4	73,5	82,6	91,8	100,9	110,0
Påskoget mark	All påskoget mark	30	1,0	7,2	8,0	11,3	43,2



Figur 1. Karbonlagrene i jord (kg karbon per kvadratmeter) i ulike økosystemer i skog på fastmark, samt i plantet skog på seminaturlig mark, jordbruksmark eller hei (påskoget mark). Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten. Boksene viser fordelingen av dataene rundt medianen (den tykke linjen i boksene), de vertikale linjene angir variasjonen utenfor øvre og nedre kvartil, og punktene angir en uteligger.

I skog på fastmark hadde skog som ikke var i aktiv drift, og derfor hadde karakteristikkene av et naturlig skogøkosystem, en tendens til å ha høyere karbonlagre enn skog påvirket av aktivt skogbruk (**Tabell 4**). Et unntak er grandominert skog. Dette unntaket kan reflektere at mye av grandominert skog, spesielt i mer produktiv skogsmark, er tatt i produksjon, og den gjenværende grandominerte skogen som ikke er i produksjon representerer typisk den mindre produktive skogsmarken som har en tendens til å ha lavere karbonlagre. Litteraturgjennomgangen inkluderte ingen studier hvor karbonlagerverdier ble rapportert for naturskogslignende barskog eller boreal løvskog, og derfor vet vi ikke om det er forskjeller på karbonlagre i produksjonsskog og naturskogslignende skog i disse to skogstypene.

Tabell 4. Karbonlagrene (kg karbon per kvadratmeter) i jord i produksjonsskog og skog som ikke er i produksjon (med karakter av naturskog), i ulike naturtyper i skog på fastmark. Tabellen omfatter bare de studiene fra litteraturgjennomgangen som hadde informasjon om forvaltning.

Økosystem	Forvaltningsklasse	Antall studier	Min.	25% kvartil	Median	75% kvartil	Maks.
Furudominert skog	Produksjonsskog	24	1,8	2,1	3,5	4,4	8,5
	Naturskogslignende	9	1,5	2,4	4,0	22,1	39,9
Grandominert skog	Produksjonsskog	27	1,1	2,8	7,6	11,9	15,8
	Naturskogslignende	10	2,1	2,6	3,9	7,3	9,7
Barskog	Produksjonsskog	3	6,3	-	13,5	-	20,5
	Naturskogslignende	0	-	-	-	-	-
Blandingsskog	Produksjonsskog	2	3,8	-	4,9	-	6,1
	Naturskogslignende	2	6,4	-	6,8	-	7,2
Boreal løvskog	Produksjonsskog	7	2,8	10,4	15,1	15,4	20,9
	Naturskogslignende	0	-	-	-	-	-
Edelløvskog	Produksjonsskog	4	7,4	7,6	7,8	8,2	8,7
	Naturskogslignende	1	-	-	11,0	-	-

Det var en tendens til økende karbonlagre i jorda fra unge (<40 år) til middelaldrende (40-80 år) og modne (>80 år) bestander på tvers av de ulike skogtypene i skog på fastmark (**Tabell 5**). Igjen var grandominert skog et unntak. En mulig forklaring til lave karbonlagre i moden grandominert skog er at granskog som er eldre enn 80 år vanligvis inkluderer lokaliteter som aldri har vært flatehogd. Dette er sannsynligvis lokaliteter med gjennomsnittlig lavere bonitet, og følgelig karbonlagre, enn skog som har blitt prioritert for produksjon.

Tabell 5. Karbonlagrene (kg karbon per kvadratmeter) i jord i ung (<40 år), middelaldrende (40-80 år) og moden (>80 år) skog, i ulike naturtyper i skog på fastmark. Tabellen omfatter bare de studiene fra litteraturgjennomgangen som hadde bestandsaldersspesifikk informasjon.

Økosystem	Aldersklasse	Antall studier	Min.	25% kvartil	Median	75% kvartil	Maks.
Furudominert skog	Ung	13	1,4	2,0	2,8	3,9	15,0
	Middelaldrende	16	0,8	2,0	3,1	4,0	14,0
	Moden	13	1,8	2,6	4,3	11,9	39,9
Grandominert skog	Ung	12	1,1	1,5	5,0	7,4	15,5
	Middelaldrende	13	1,7	2,1	8,1	14,3	15,8
	Moden	20	1,7	2,3	4,1	8,2	13,1
Barskog	Ung	3	6,3	-	13,5	-	20,5
	Middelaldrende	0	-	-	-	-	-
	Moden	0	-	-	-	-	-
Blandingsskog	Ung	1	-	-	1,3	-	-
	Middelaldrende	2	1,6	-	2,7	-	3,8
	Moden	2	2,2	-	4,7	-	7,2
Boreal løvskog	Ung	2	6,8	-	13,8	-	20,9
	Middelaldrende	1	-	-	2,2	-	-
	Moden	4	14,1	14,9	15,2	15,3	15,4
Edelløvskog	Ung	1	-	-	7,6	-	-
	Middelaldrende	2	7,4	-	7,7	-	8,0
	Moden	3	5,3	-	8,7	-	11,0

De mest verdifulle skogstypene for karbonlagring under bakken og på økosystemnivå er ifølge vår litteratursammenstilling de eldre og gamle, naturskoglignende skogene, og særlig gammel boreal løvskog. Dette er samme konklusjon som i tidligere kunnskapssammenstillinger (Bartlett et al. 2020, Framstad et al. 2011). Skog av lavere produktivitet (f.eks. furuskog) kan imidlertid ha store karbonlagre som har blitt akkumulert over lang tid. Gjenoppbygging av karbonlagre i jord etter menneskeskapte eller naturlige (f.eks. brann) forstyrrelser går sakte i skoger med lavere produktivitet, og forstyrrelse av disse bør derfor unngås. Resiliens i skogøkosystemet og evne til karbonlagring under klimaendringer kan forsterkes ved å bevare diversitet på bestandsnivå, samt ved å opprettholde tilstrekkelig mengde og diversitet av skogøkosystemer på landskapsnivå (Kausrud et al. 2022).

Bevaring av karbonlagre i karbonrike skogøkosystemer har viktige synergier. Disse økosystemene er viktige for biologisk mangfold av skogsarter (Framstad et al. 2011). Høy produktivitet er knyttet til høy karbonlagring og rikt artsmangfold. Lavproduktive skoger kan imidlertid ha unikt artsmangfold, selv om artsrikdommen er forholdsvis lav (Hämäläinen et al. 2020).

Karbonutslipp ved arealbruksendringer

Skogbruk i form av tynning, gjødsling, flatehogst og markberedning påvirker karbonlagrene i skogsjorda. Transport av biomasse fra skogen betyr å fjerne et stort karbonlager fra økosystemet. Dette fører til en betydelig reduksjon i tilførselen av karbon til jorda, spesielt ved gjentatte hogstsykluser (Liski et al. 1998), som igjen fører til mindre jordkarbonlagre i produksjonsskoger enn i gammelskoger og andre naturskoglignende skoger (Pregitzer & Euskirchen 2004; Tabell 4). Den flatehogde skogen vil være en utslippskilde for karbon i 10–20 år, da CO₂-utslipp fra jorda økes etter hogst, og det er lite fotosyntese som binder karbon fra luften i hogstflaten (Alam et al. 2017, Luyssaert et al. 2008, Mayer et al. 2020). Avskoging vil ha lignende negative påvirkninger i karbonlagrene i skogsjorda, men påvirkningene er da forventet å være mer langvarige i fravær av en ny voksende skogbestand.

4.2 Myr (åpen våtmark)

Karbonlagring i torvjord

Myr er et torvproduserende økosystem, som innebærer at produksjonen av organisk materiale er større enn nedbrytningen, slik at det kan dannes tykke lag som oftest består av mer enn 90% organisk materiale. Det er godt kjent både globalt og i Norge at myr lagrer store mengder karbon. Norske myrer lagrer på fem prosent av landarealet minst 950 millioner tonn karbon, tilsvarende rundt 3500 millioner tonn CO₂, eller Norges årlige utslipp av klimagasser i 66 år. Myr kan deles i to hovedtyper, jordvannsmyr og nedbørsmyr. Nedbørsmyr består ofte av dyp torv med langsom karbonomsetning, mens jordvannsmyr ofte er grunnere. Fordi jordvannsmyr har tilgang på mer næringsrikt vann har de ofte et større biologisk mangfold.

Karbonlagre i myrer har blitt skapt sakte over en svært lang tidsperiode. Potensialet for karbonopptak fra atmosfæren til jordsmonnet er lavt i myr sammenlignet med skog og eng på grunn av at vegetasjonen ofte har sparsomt med karplanter, og derfor relativt lavt mengde med fotosyntetiserende vegetasjon. Torv er derfor sammenlignbar med olje og gass på den måten at det som en gang er tapt, er umulig å gjenopprette på kort sikt. Den eneste måten å beskytte torv og alt karbonet som er lagret i torva er å holde den våt, og helst med intakt vegetasjonsdekke.

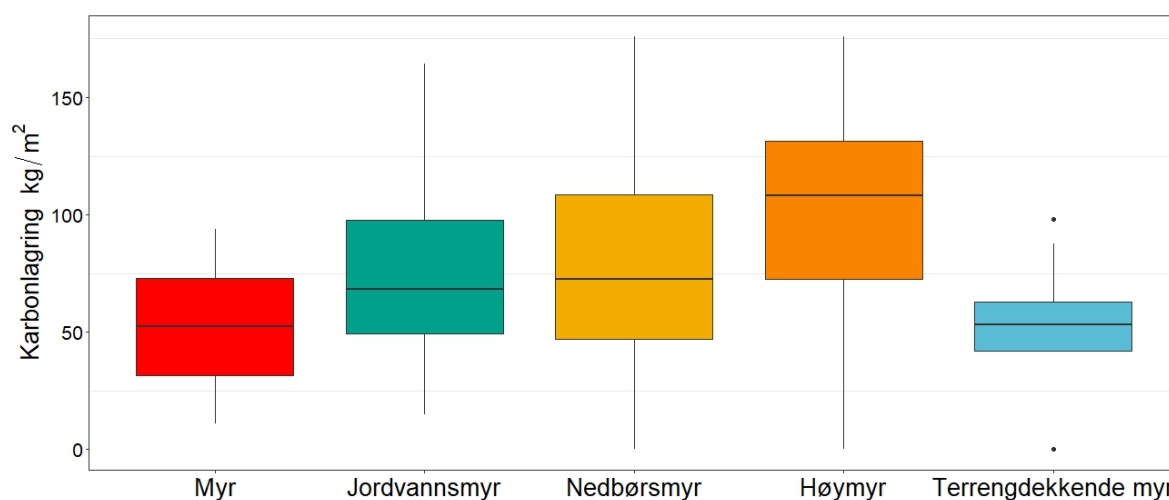
Variasjon i jordkarbonlageret

Dataene samlet inn fra litteraturstudien inneholder verdier fra uberørte myrer i både oseaniske og kontinentale seksjoner, samt fra boreale og tempererte soner. Karbonlageret i myr er betydelig større enn i skog, noe som gjør myr til de mest karbonrike miljøene på norsk jord med 5-10 ganger høyere karbonlager (kg karbon per kvadratmeter) sammenlignet med skog på mineraljord. Til tross for den relativt lille mengden studier på karbonlagrene i uberørt myr, var alle de arealkategoriene vi inkluderer i denne studien til stede. I litteraturgjennomgangen i denne rapporten som dekker myr i nordeuropeiske land er karbonlageret høyest i høymyr (median på 133

kg karbon per kvadratmeter), etterfulgt av nedbørsmyr (72,7 kg karbon per kvadratmeter), jordvannsmyr (68,1 kg karbon per kvadratmeter) og terrengdekkende myr (53 kg karbon per kvadratmeter). Karboninnholdet i torv varierer relativt lite, noe som gjør at torvdybde er den avgjørende faktoren som skiller de ulike myrtypene. Høymyr er ofte de dypeste myrene (tykkeste torvlag), mens jordvannsmyr og terrengdekkende myr er relativt grunne.

Tabell 6. Karbonlager (kg karbon per kvadratmeter) i torv i ulike typer myr. «Myr» er her en samlebetegnelse for ikke-klassifiserte myrer. Høymyr og terrengdekkende myr er inkludert siden disse myrtypene var spesifisert i de relevante vitenskapelige artiklene.

Økosystem	Antall studier	Min.	25% kvartil	Median	75% kvartil	Maks.
Myr	2	11.0	31.7	52.4	73.1	93.8
Jordvannsmyr	4	15.0	49.5	68.1	97.6	164.4
Nedbørsmyr	17	0.1	47.2	72.7	108.5	176.1
Høymyr	5	0.1	72.7	108.2	131.5	176.1
Terrengdekkende myr	9	0.1	42.0	53.0	63.0	98.2



Figur 2. Karbonlager (kg karbon per kvadratmeter) i torv i ulike typer myr. Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten. Boksene viser fordelingen av dataene rundt medianen (den tykke linjen i boksene), de vertikale linjene angir variasjonen utenfor øvre og nedre kvartil, og punktene angir en uteligger.

Karbonutslipp ved arealbruksendringer

Uberørt boreal myr, inkludert både jordvannsmyr og nedbørsmyr, har på sikt et netto opptak av karbon (Joosten et al. 2016). Å forstyrre uberørt myr og annen torvmark ved å drenere de for skogbruk, landbruk, torvhøsting eller infrastrukturbygging fører til en betydelig økning i utslippene. De tilførte CO₂-utslippene fra torvtekt er beregnet med en utslippsfaktor på 0,2 (0 – 0,63) tC/ha/år for nedbørsmyr og 1,1 (0,03 – 2,9) for jordvannsmyr (Couwenberg 2011, Hiraishi et al. 2014). Denne utslippsfaktoren er også den mest relevante for å beregne CO₂-utslipp fra infrastrukturbygging der uberørt myr dreneres og torva lagres uten vannmetting. Det er pågående prosjekter både nasjonalt og internasjonalt der metoder for restaurering og regenerering av myr og torvmark undersøkes for å redusere CO₂-utslipp når infrastruktur som bygger på torvrike områder ikke kan unngås.

I løpet av det siste tiåret har den norske regjeringen tatt grep for å beskytte myrer og deres karbonlagre, særlig ved å forby drenering av uberørte myrer for skogbruk i 2006 (skogbruksloven nr. 31 av 1. januar 2006. § 6.), og de forsøkte å forby drenering av uberørte myrer for

landbruksformål i 2020. Nylig har ulike typer infrastrukturbygging på myrer som spenner fra hyttefelt til veibygging og infrastruktur knyttet til det grønne skiftet (vindmølle- og solenerkiparker) utløst debatt.

4.3 Åpne naturtyper (åpen fastmark)

Karbonlagring i jord i åpne naturtyper

De største arealene av åpne naturtyper på fastmark under skoggrensen i Norge har oppstått som følge av menneskelige aktiviteter som beite og slått, brann eller annen form av rydding av trær og busker. Dette klassifiseres som semi-naturlig mark så lenge det er ekstensiv hevd som definerer arealet. Et mindre areal er naturlige enger som underholds med naturlige økologiske forhold. Vi har hentet data i litteraturen fra naturlig åpne områder og semi-naturlig eng og hei for å gi informasjon om karbonlagrene i denne heterogene gruppa med naturtyper.

Beite og annen menneskelig aktivitet fjerner biomasse som ellers kan bli med i karbonsyklusen og inn i jordsmonnet. Dette kan man tenke seg vil gi lavere karboninnhold i jordsmonnet i beitemark og andre semi-naturlige naturtyper. Beiting kan imidlertid ha en positiv effekt på engas produktivitet gjennom kompensere vekst, noe som innebærer et høyere opptak av karbon i beitede enn i ubeitede systemer. Økt produktivitet som en følge av beiting kan forklare høyere karbonlager i beitede sammenlignet med ubeitede enger, slik det er rapportert i studiene av Khalil et al. (2018) i vår litteraturundersøkelse. Selv om en del av karbonet fjernes ved beiting, slått og annen menneskelig aktivitet, blir mesteparten av det værende i plantenes rotsystem, og det blir etter hvert lagret i jorda som jordorganisk materiale (SOM, Soil organic matter). Jordorganisk materiale utgjør cirka halvparten av jordens organiske karbon, og den bestemmes først og fremst av tilførsel av organisk karbon fra plantenes rotter. I gressmarker er mesteparten av biomassen lagret i kortlevde, fine røtter, som kan vokse dypt. Disse røttene som i større grad ikke er vedartete, brytes ned lett og kan fort lagres i jorden. Dette fører til at gressmarker kan holde høye mengder av jordorganisk materiale (Bartlett et al. 2020, Ontl & Schulte 2012). I åpen heipreget vegetasjon er også det meste av karbonet lagret i jorden (f.eks. Speed et al. 2014).

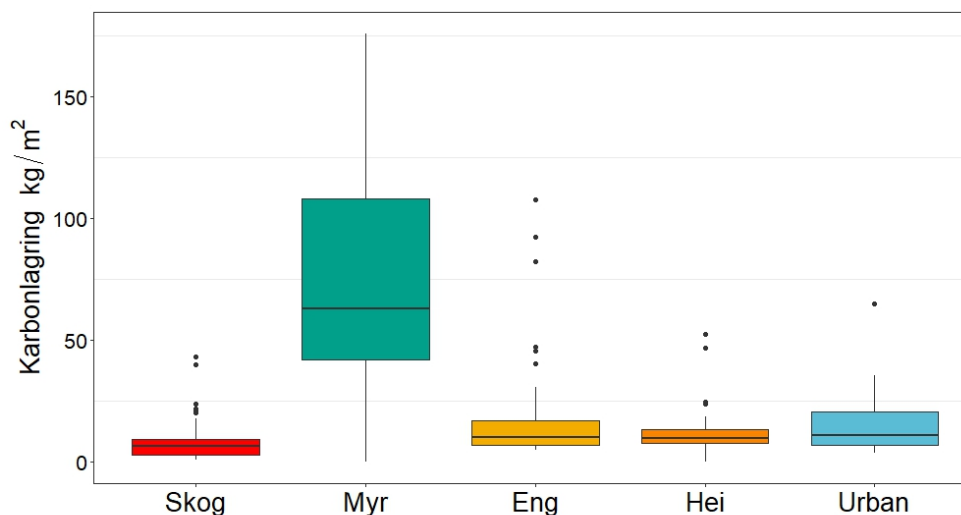
Røtter kan være den største kilden til organisk karbon i jord (Setälä et al. 2016), og rotproduksjon kan være høyere i eng enn i skog (Moar & Wilson 2006). Hvor mye karbon som blir lagret i jorden påvirkes av omsetningen av røtter, det vil si balansen mellom tilvekst og visning, kvalitet (tykkelse på røttene), samt hvor fort planterestene brytes ned. En viktig faktor som påvirker både rotproduksjon og nedbrytningshastighet er nitrogen i jorden (Moar & Wilson 2006, Steinaker & Wilson 2008). For eksempel fant Moar & Wilson (2006) at både rotlengden og rotproduksjonen var betydelig større i eng enn i skog, mens rotomsetningen var lik mellom de forskjellige vegetasjonstypene.

Variasjonen i jordkarbonlageret

Alle artikler som omhandlet åpne engpregete naturtyper kom fra Storbritannia. Av de ni artiklene i litteraturstudien som omhandlet heipreget vegetasjon var det bare en fra Norge, og resten fra Storbritannia. Studiene har blitt gjort både i hei- og engpreget fastmark, i lavland og på fjell. Til tross for dette ligger de vanligste verdiene rundt 10 kg karbon per kvadratmeter (median) i alle de tre økosystemene (Se **Tabell 7**). Studier fra Norge rapporterte henholdsvis 13,12 kg karbon per kvadratmeter og 13,43 kg karbon per kvadratmeter i beitet og ikke-beitet heipreget fastmark i fjellet, noe som tilsvarer verdiene som oftest ble rapportert i litteraturen. Noen av engene hadde relativt høye jordkarbonlagre, noe som man kan forventes i denne type vegetasjon (Bartlett et al. 2020, Kyrkjeeide et al. 2020). Variasjonen er trolig forårsaket av lokale forhold (se forrige avsnitt). Noen av de høye verdiene i litteratursøket kan skyldes at engene var etablert på fuktig mark, muligens med torvdannelse, eller at de er i en rotasjonssyklus med åkermark og kan ha høyere nitrogeninnhold. Engene blir også forvaltet på forskjellige måter (forskjellige beitedyr, slåtteregeimer, gjødsling med mer) og dette kan også påvirke variasjonen vi ser i jordkarbonlagrene.

Tabell 7. Karbonlager (kg karbon per kvadratmeter) i jord i åpne naturtyper. Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten.

Økosystem	Artikler	Min.	25% kvartil	Median	75% kvartil	Maks.
Engpreget fastmark	12	5	7,16	10	17,10	107,97
Heipreget fastmark i lavlandet	4	0,24	1,27	9,95	13,43	18,73
Heipreget fastmark i fjellet	5	2,94	8,20	10,10	13,97	52,60



Figur 3. Karbonlager i jord (kg karbon per kvadratmeter) i ulike arealkategorier i denne rapporten. Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten. Boksene viser fordelingen av dataene rundt medianen (den tykke linjen i boksene), de vertikale linjene angir variasjonen utenfor øvre og nedre kvartil, og punktene angir en uteligger.

Karbonutslipp ved arealbruksendringer

Forvaltede enger har en netto utslippseffekt om er regnskapsført i den nasjonale rapporteringen, der utslippsfaktorer er tilordnet både forvaltede enger på mineraljord og på organisk jord. Regnskapet handler mest om intensivt forvaltede enger som har som hovedmål fôrproduksjon, og som kan være både gjødslet og plantet med en blanding av gress og urter (ofte kløverarter). Klimagassutslipp fra naturlige og semi-naturlige enger er det relativt mindre forskning på enn intensivt forvaltede enger, spesielt i den boreale regionen. Globalt er områder med lavt beitetrykk og naturlige gressmarker viktig for CO₂ opptak, kan ha et netto opptak som kan sammenlignes med det i skog. Når semi-naturlige enger endres til intensivt forvaltede økosystemer eller forstyrres på en annen måte, blir de til kilder for karbon til atmosfæren (Cantarello et al. 2011, Chang et al. 2021).

4.4 Urbane økosystemer

Karbonlagring i jord i urbane økosystemer

Karbonlagring i urbane økosystemer er et mye mindre utforsket fagfelt sammenlignet med de andre naturtypene i denne rapporten. Tidligere har grønnstrukturer i byer blitt karakterisert og vurdert etter egenskaper som fyller funksjoner som f.eks. muligheter for rekreasjon og friluftsliv, matproduksjon (mest internasjonalt arbeid), og habitat for biologisk mangfold. I senere år har andre økosystemtjenester og potensiale for naturbaserte løsninger til f.eks. klimatilpassing (overvannskontroll, lokal klimaregulering) også blitt viktige. I denne konteksten har også grønninfrastrukturens evne til å ta opp og lagre karbon blitt satt fokus på.

Variasjonen i jordkarbonlageret

Det var få artikler som omhandlet urbane økosystemer som kom frem av litteratursøket, og de var fra Storbritannia (antall = 6), Finland (antall = 5) og Sverige (antall = 1). Arealdekkende, vegetasjonsbaserte kartdata med høy oppløsning som er tilgjengelige for byer i Norge (Oslo, Stavanger) skiller på vegetasjon dominert av gress, trær, eller en blanding av begge. Disse forskjellene kommer også fram i studier på karbonlager i litteratursøket. Til tross for at det er få studier i vårt søk viser studiene et konsistent mønster. Generelt har tredominerte urbane økosystemer et høyere karboninnhold i jord enn gressdominerte urbane økosystemer. En finsk studie påviste 10,4 kg karbon per kvadratmeter i urbane parker generelt og 15,5 kg karbon per kvadratmeter i parker under annen vegetasjon (Lindén et al. 2020). Alder på parkene har sannsynligvis også noe å si for karboninnholdet i jord, der gammel parkjord inneholder mer karbon enn ung parkjord (Setälä et al. 2016). Tredominerte urbane økosystemer fra litteraturstudien hadde 21,4 kg karbon per kvadratmeter som median, og det er kun skog på våtmark og tresatt grøftet torvmark av skogtypene fra litteraturundersøkelsen som har et høyere median karboninnhold. Dette er noe overraskende, og bør tolkes med forsiktighet. Skog har ofte blitt opprettholdt når dyrking eller omlegging til dyrkbar mark ikke har vært mulig. Dette betyr at skog ofte finnes på ulendt terreng og steinete underlag, noe som vanligvis betyr grunnere jordsmonn, og ofte jord med dårlige vekstforhold (lavere pH, mulig vannmetning med mer). Trær i parker kan imidlertid vokse på dypere jord og under svært gunstige, hagelignende forhold, og dermed påvirke jordas karbontilførsel. I vår litteraturgjennomgang er det bare to artikler som omhandler tredominerte urbane økosystem, og det er derfor enda mer viktig å ta tallene her med forsiktighet. På den andre siden viser Setälä et al. (2016) at karbon i jord under trær i gamle parker kan sammenlignes med karbon i jord i nærliggende skog til tross for at det meste av løv og bar som faller på marken er ryddet vekk fra parkene. Når det gjelder gressdominerte grønnstrukturer er verdiene i vårt litteratursøk sammenlignbare med de vi finner i studier om åpent lavland.

Det var stor variasjon i dybden av prøvene på tvers av artiklene, der noen artikler rapporterte karboninnhold i 6 cm dyp jord, og noen tok prøver ned til 1 m dyp. Studien som rapporterte karboninnhold fra 1 m dybde ble gjort i parker i England, og hadde de høyeste verdiene av karboninnhold (Edmondson et al. 2015). I tillegg til jorddybde kan også jordtype og vannmetning ha mye å si for karboninnholdet. I en studie fra England ble det registrert dobbelt så mye karbon i jord med høyt leireinnhold med naturlig høyt grunnvann som det nasjonale gjennomsnittet, mens godt drenert flommarksjord hadde cirka halvparten så høyt karboninnhold som det nasjonale gjennomsnittet (Dobson et al. 2021).

Tabell 8. Karbonlager (kg karbon per kvadratmeter) i jord i urbane økosystemer. Tallene er basert på litteraturundersøkelsen for denne rapporten.

Økosystem	Artikler	Min.	25% kvartil	Median	75% kvartil	Maks.
Gressdominert	2	4,76	6,91	7,50	10,05	22,02
Tredominert	2	1,70	18,90	21,40	23,40	35,50
Spredt tresatt gressmark	5	1,00	8,10	12,40	19,55	64,90
Urban hage	3	6,70	7,15	11,50	14,80	24,40

Karbonutslipp ved arealbruksendringer

De få studiene i vår syntese fra urbane grønnstrukturer viser at grønne arealer har høyt karboninnhold, så betydelige mengder karbon kan slippes ut ved utbygging. Større utslipp bør beregnes ved nedbygging av tredominert vegetasjon, og spesielt hvis de grønne områdene er gamle (Setälä et al. 2016). Til og med konvertering av grønnstrukturer i byer til landbruksformål kan gi klimautslipp. En engelsk studie anslår at hvis grønne urbane områder endres til dyrkamark uten vanning resulterer dette i netto utslipp (Cantarello et al. 2011). Dette er fordi både karbonlagrene i jord og over bakken er høyere i urbane områder. Potensialet for karbonutslipp kan beregnes og inkluderes i eksisterende virkemidler for nybygg, som f.eks. den blå-grønn faktoren (Plan- og bygningsetaten 2020).

4.5 Jordkarbonlagre i kommunene

Eksisterende arealstatistikk

Tidligere beregninger, gjort i forbindelse med rapportering av klimagassutslipp knyttet til arealbruksendringer, har tatt utgangspunkt i hvor store arealer som er rapportert inn med endret arealbrukskategori mellom 2010 og 2015. Dette er basert på overordnede kart (AR5) (**Tabell 9**). Inndelingen av areal typer som er brukt gir grove estimater på utslipp av klimagasser ved arealtypeendring, fra for eksempel skog til utbygd areal (Miljødirektoratet 2023). Arealstatistikken fra 2015 viser at det vanligste terrestriske hovedøkosystemet i de fire kommunene er skog. Det er imidlertid stor forskjell mellom Oslo kommune, der skog dekker over 60 % av arealet, og Stavanger der skog kun dekker omtrent en fjerdedel av arealet. Stavanger skiller seg også ut som den kommunen med mest landbruksareal, og beitemark og dyrket mark dekker nesten 40 %, mens Oslo kun har om lag 2 % landbruksarealer innenfor kommunegrensen.

Tabell 9. Arealstatistikk for de fire kommunene basert på grove klasser i AR5. Kilde: Miljødirektoratets LULUCF-beregninger (Miljødirektoratet 2023).

Kommune	Bergen		Oslo		Stavanger		Trondheim	
	Areal (ha)	%	Areal (ha)	%	Areal (ha)	%	Areal (ha)	%
Annen utmark	10332	22 %	819	2 %	2432	10 %	2774	5 %
Beite	1345	3 %	193	0 %	4611	19 %	704	1 %
Dyrket mark	1667	4 %	770	2 %	4438	18 %	6729	13 %
Skog	20360	44 %	27993	62 %	6576	27 %	27773	53 %
Utbygd areal	9699	21 %	12406	27 %	5077	21 %	6909	13 %
Vann og myr	3067	7 %	3227	7 %	987	4 %	7867	15 %
Total	46470	100 %	45408	100 %	24121	100 %	52756	100 %

Klimagassregnskapet i LULUCF viser ikke hvilken type skog, myr, semi-naturlig mark eller urbant miljø som per i dag har størst karbonlager, og som ved nedbygging vil kunne innebære størst tap av karbonlager over kort tid. For å gi kommunene et bedre kunnskapsgrunnlag for prioritering mellom arealer med store karbonlagre og arealer med mindre karbonlagre i arealplanleggingen har vi i litteraturstudien klassifisert de naturlige, semi-naturlige og urbane økosystemene mer nøyte og sammenstilt tilgjengelig kunnskap om karbonlagre for disse.

Oslo

I Oslo kommune dekker fastmarksskog, påskoget fastmark og skog på våtmark i henhold til AR5 til sammen 27 993 ha (62 % av totalarealet) (**Tabell 9**). Hoveddelen av skogen består av gran- og furudominert skog, men det finnes også mindre arealer med blandingsskog, boreal løvskog og edelløvskog. Nøyaktig arealfordeling mellom disse skogtypene krever analyser av data som ikke har vært tilgjengelig i prosjektet (DMK, SR16 vektorkart, myrkart) (se **Tabell 2** for detaljer). Fokus i biologisk feltkartlegging av arealene har vært å kartfeste spesielle typer natur, og det finnes derfor mer detaljert data på f.eks. edelløvskog og gammel barskog enn på vanligere skogtyper. Hovedfokus i skogbrukskartleggingen har vært drivverdig skog knyttet til eiendommer og her finnes det informasjon om bestandsalder og treslag. Datasettet har ikke vært tilgjengelig for analyser, men det er tydelig fra innsynsløsninger at gammel skog kun forekommer som mindre arealer i et landskap der yngre skogklasser dominerer. Flatehogstskogbruket har dominert i kommunen, men på de arealene som Oslo kommune eier drives det et mer skånsomt skogbruk som i tillegg til tømmerproduksjon tar hensyn til karbonlagring i jord, biologisk mangfold og diverse økosystemtjenester. Skogbruket som Oslo kommuneskoger driver, omfatter lukket hogst der det er egnet til det, samt at de unngår gjødsling og markberedning. Dette skogbruket er til fordel av både karbonlagring og biologisk mangfold i jord på kort og lang sikt.

I Oslo dekker våtmark og ferskvann i henhold til AR5 til sammen 3 227 ha (7 % av arealet), men arealet med opprinnelig myr er sannsynligvis underrepresentert i AR5, da dette er en naturtype som har blitt påvirket av omfattende grøfting. Det finnes ikke gode og oppdaterte kart over myr som er mer eller mindre påvirket av grøfting og gjengroing, men data fra eldre kart (DMK, myr-kart. Se også **Tabell 2**) og fra pågående estimeringer av grøftet myr i Oslo (Jansson mfl. 2023) vil kunne brukes for å få bedre estimater over utbredelsen av myr i Oslo kommune. Ut fra det vi vet om myr i Oslo så er det mye jordvannsmyr, men med innslag av nedbørsmyr og noen høymyrer. Det er ikke registrert terrengdekkende myr i kommunen, og dette finnes heller ikke siden denne typen er knyttet til oseaniske, nedbørsrike områder med lav fordampning.

Oslo kommune har betydelige områder av grønne strukturer i bysonen. Oslo kommunes byggesone utgjør 15 270 ha, hvorav 18,5 % er urbane grøntområder (av dette er 1 % kirkegårder, 14,44 % friområder og 3,1 % parker (Soy-Massoni et al. 2018)). Seks prosent av Oslo kommunes areal er ferskvann, med ti hovedbekker som renner gjennom byområdet.

Bergen

Skogøkosystemene (skog på fastmark, påskoget fastmark og skog på våtmark) dekker 20 360 ha (44 %) i henhold til AR5 (**Tabell 9**). Barskog dominert av furu er vanligst, dernest kommer boreal løvskog og blandingsskog. Nøyaktig arealfordeling mellom disse skogtypene krever analyser av data som ikke har vært tilgjengelig i prosjektet (DMK, SR16 vektorkart, myrkart) (se **Tabell 2** for detaljer). Det er gjennomført naturtypekartlegging basert på DN-Håndbok 13, Miljødirektoratets instruks og heldekkende kartlegging i verneområder. Basert på gjennomførte kartlegginger vet vi at kommunen også har noe edelløvskog. Ifølge Nyjordet et al. (2022) er det registrert totalt 38 edelløvsoger som samlet sett utgjør over 1193 daa. Det er registrert totalt 12 lokaliteter av gammel skog som tilhører kategorien naturskogslignende. Det er registrert 23 lokaliteter med våtmarksskog (Nyjordet et al. 2022).

Våtmarks- og ferskvannskosystemene i Bergen dekker til sammen 3 067 ha (7 %) i henhold til AR5, men arealet med opprinnelig myr er sannsynligvis underrepresentert i AR5, da dette er en naturtype som har blitt påvirket av omfattende grøfting. Utvalgskartlegging av biologisk viktig natur peker på at av myrøkosystemene har Bergen kommune mest jordvannsmyr og det er registrert ca. 2800 daa med fattig til intermediær og to rikmyrer. Det er bare 11 registrerte nedbørsmyrer og en atlantisk høgmyr (Nyjordet et al. 2022). Det er ikke registrert terrengdekkende myr i kommunen.

Åpen heipreget fastmark i fjellet består hovedsakelig av arealene ved Gullfjellet og en del av byfjellene, og det er registeret 475 daa av kalkrike områder i fjellet. Av åpen heipreget fastmark i lavlandet er det bare registret 14 lokaliteter, men store arealer av byfjellene er definert som lynghei i forvaltningsplanen. Av åpen engpreget fastmark er det registrert rundt 37 lokaliteter, der åtte av de var naturbeitemark mens 23 lokaliteter semi-naturlige enger.

I Bergen kommune er Nygårdsparken, Bergenhus festning, Solheim og Møllendal gravplass er de største grøntarealene i byen. Det er også registeret fire lokaliteter med bynatur (Nyjordet et al. 2022).

Trondheim

Skogøkosystemene (skog på fastmark, påskoget fastmark og skog på våtmark) dekker 27 773 ha (53 %) i henhold til AR5 (**Tabell 9**). Barskog dominert av gran er vanligst, men også løvskog og noe blandingsskog og edelløvskog forekommer. Nøyaktig arealfordeling mellom disse skogtypene krever analyser av data som ikke har vært tilgjengelig i prosjektet (DMK, SR16 vektorkart, myrkart) (se **Tabell 2** for detaljer).

Våtmarks- og ferskvannskosystemene i Trondheim dekker til sammen 7 867 (15 %) i henhold til AR5 (**Tabell 9**), men arealet med opprinnelig myr er sannsynligvis underrepresentert i AR5, da dette er en naturtype som har blitt påvirket av omfattende grøfting. Myr i Trondheim kommune domineres av jordvannsmyr, men det er også et betydelig innslag av nedbørsmyrer og høymyrer.

Arealer med åpen heipreget fastmark i fjellet er svært små i kommunen, det er også registrert små arealer med åpen heipreget fastmark i lavlandet i form av åpen grunnlendt kalkrik mark i sørboreal sone, mens kystlynghei ikke opptrer (Trondheim kommune 2023, naturbase). Dyrket mark dekker 13 % av Trondheim kommune, en betydelig del av dette er intensivt dyrka mark, men av semi-naturlige typer er det kartlagt slåttemark, naturbeitemark og hagemark (Trondheim kommune 2023, Naturbase).

I Trondheim kommune er de største grøntarealene i byen langs Nidelva, ved NTNU Gløshaugen, Tilfredshet gravlund, Havstein kirkegård, Kristiansten og Lade.

Stavanger

Skogøkosystemene (skog på fastmark, påskoget fastmark og skog på våtmark) dekker 6 576 ha (27 %) i henhold til AR5 (**Tabell 9**). Blant skogøkosystemene i kommunen inngår i hovedsak løvskog, barskog og blandingsskog. Nøyaktig arealfordeling mellom disse skogtypene krever analyser av data som ikke har vært tilgjengelig i prosjektet (DMK, SR16 vektorkart, myrkart) (se **Tabell 2** for detaljer). I forbindelse med naturtypekartlegging av biologisk viktig natur er det registrert rundt 60 lokaliteter med edelløvskog i kommunen (Stavanger kommune 2022).

Våtmarks- og ferskvannskosystemene i Stavanger dekker til sammen 987 ha (4 %) i henhold til AR5 (**Tabell 9**), men arealet med opprinnelig myr er sannsynligvis underrepresentert i AR5, da dette er en naturtype som har blitt påvirket av omfattende grøfting. Myr i Stavanger kommune består hovedsakelig av jordvannsmyr med innslag av nedbørsmyr. Det er ikke registrert verken høymyr eller terrengdekkende myr i kommunen.

Kommunen har ingen arealer med åpen heipreget fastmark i fjellet. For åpen heipreget fastmark i lavlandet er det i forbindelse med naturtypekartlegging av biologisk viktig natur registrert rundt 40 lokaliteter med kystlynghei i kommunen (Stavanger kommune 2022). I økosystemet åpen engpreget fastmark er det registrert rundt 45 naturbeitemarker som er den dominerende semi-naturlige typen (Stavanger kommune 2022).

Stavanger kommune har laget en strategi for kommune planenes arealdel 2023-2040, Grønn plan, som omfavner forvaltningen av kommunes blå-grønne strukturer i byggesonen og kulturlandskapet og landbruksområder i de ytre kommunedelene (Stavanger kommune 2022). I motsetning til andre store byer har Stavanger ingen store parker. Det er heller ingen store markaområder/utmark i Stavanger sitt byområde. Derimot er det 20 sammenhengende grønne strukturer som gjennomvever hele byen. Disse strukturene har blitt kartlagt med bruk av eksisterende ressurskart (AR5), sammen med Sentinel 1 og 2, LIDAR og andre fjernmålingsdata (Stange et al. 2019). De største grøntarealene i byen er rundt Mosvatnet, ved Eiganes og Lagård gravlund.

5 Metodeanbefalinger for innhenting av kunnskap om karbon i jord

Dagens arealplanlegging baseres i noen grad på grove estimater av karbonlager i noen arealtyper/hovedøkosystem, men målet må være at det utvikles metoder som gir et vesentlig bedre estimat av karbonlager for alle areal typer. Det er også verdt å merke seg at det er forskjell på hvordan arealbruksendring, forstyrrelsesnivå og faktorer som hydrologi, geologi og jordkjemi påvirker hvor mye av jordkarbonlageret som vil gå tapt fra økosystemet (enten som CO₂ til atmosfæren eller som oppløst organisk karbon til vann). Informasjon om karbonlagre i jordsmonn fra disse hovedøkosystemene vil hjelpe til med å vurdere deres effekter på klimaet, jordhelse og biologisk mangfold.

Per i dag rapporterer Norge på utslipp fra endringer i arealbruk for dyrka mark, gressmark, skog, våtmark, bebygget og annen areal til LULUCF til Klimakonvensjonen. Utslippsfaktorene som ligger til grunn for det nasjonale klimagassregnskapet er også grunnlaget for å beregne klimagassutslipp i henhold til Håndbok M-1941 Konsekvensutredninger for klima og miljø (høringsfrist for revidert versjon var 10. april 2023). I den nasjonale rapporteringen benyttes modeller for å beregne jordbundet karbon i skogsøkosystemet (Rusch et al. 2022). Beregninger for de andre økosystemene eller areal typene er imidlertid ikke like godt utviklet og tallene som ligger til grunn for modeller er ofte basert på målinger gjort utenfor Norge (Rusch et al. 2022). For klimagassregnskap i arealplansaker i kommuner, benyttes Miljødirektoratets beregninger av utslipp fra arealbruksendring (ofte som en del av arbeidet med KU og håndbok M-1941) og/eller livssyklusanalyser som Statens Vegvesen VegLCA (Statens vegvesen 2023) der skog og myr er inkludert, men ikke øvrige naturtyper.

For å få bedre informasjon om karbonlagrene i jord for økosystemer der det per i dag er et dårlig kunnskapsgrunnlag, må dette måles direkte i felt. Nyere teknologier som fjernmåling og landskapsmodellering er under rask utvikling, men ennå ikke godt nok testet eller kalibrert for en standardisert bruk. Derfor anbefaler vi i dette kapittelet hvordan kommunene, kan skaffe informasjon om de totale karbonlagrene i områder hvor man vurderer arealbruksendringer, for eksempel i forbindelse med byggeprosjekter, og som vil gi nyttig kunnskapsgrunnlag for konsekvensutredninger.

5.1 Anbefalt kunnskapsinnhenting

Dette avsnittet beskriver NINA sine anbefalte metoder for å få best mulig kunnskap om karbon i jord. Disse anbefalingene reflekterer ikke nødvendigvis minimumskrav ifølge KU-forskriften, eller det som er standard per i dag.

For å måle karbonlager i jordsmonn er det nødvendig med informasjon om følgende parametre:

- Totalt berørt areal
- Jorddybde
- Volumvekt
- Total karbonkonsentrasjon i jorden

Totalt berørt areal kartlegges i felt som polygoner for de ulike naturtypene som inngår i arealet. Hver naturtype får inntegnet ett polygon som viser utbredelsen. Et heldekkende kart over norske hovedøkosystemer er under bearbeidelse og regnes å bli ferdig i løpet av 2023 (oppdrag fra Miljødirektoratet). Dette kartgrunnlaget vil gjenspeile inndelingen i hovedøkosystemer i Framstad et al. (2022), på det nivået som eksisterende data tillater (se Tabell 13 i Framstad et al. (2022)). **Jorddybden** må måles for å finne volumet på jorda som blir berørt. Dybden på jordprofilen er regnet fra overflaten til berggrunnen eller til laget med hindringer for røtter. Dette kan gjøres på flere måter, med for eksempel georadar, boreprøver eller manuelt med en metallpinne som

stikkes i jorda. Punktene for dybdemålene bør registreres med GPS. **Volumvekt** er vekten av en tørket prøve delt på det totale volumet av den samme prøven. Prøver må samles i felt for de ulike naturtypene som inngår i totalt berørt areal (se beskrivelse av metode for å finne volumvekt under). Naturtyper i denne sammenhengen referer ikke nødvendigvis til naturtypeinndelingen i NiN, men se vår grove inndeling i torvjord, semi-naturlige, naturlig åpne og urbane områder, samt skog nedenfor. Der finner dere også noe mer utfyllende informasjon om innsamling av data innenfor disse systemene. **Karbonkonsentrasjon** til en prøve finner man gjennom glødetapmetoden (loss on ignition – LOI), for eksempel. Basert på gitte parametere kan den totale mengden karbon i en jordprøve beregnes (Guo & Gifford 2002, Kyrkjeeide et al. under revidering, Yu 2012).

For våtmark og semi-naturlige økosystemer finnes det ingen standardiserte og internasjonalt harmoniserte protokoller for Norge. Vi kjenner heller ikke til noen prosjekter hvor slike protokoller er under utvikling. Derimot burde slike protokoller definere standarder for provtaking, f.eks. basert på jordkarbonlager dybde og tetthet/volumenhet, størrelse på prøver, antall prøver og lab-protokoller.

Protokoll for prøvetaking og analyse av karbonlagre i jordsmonn avhenger i stor grad av økosystemet. For eksempel har torvjord et homogent jordprofil med jevnt og stort karboninnhold, mens skog vokser på mange ulike jordtyper med svært varierende lag av organiske og uorganiske jord. Derfor må prøvetakingen justeres etter jordsmonntype. Vi anbefaler videre at prøvetakingen for karbon i jordsmonn harmoniseres mellom ulike aktører i Norge. Det gjøres for tiden en stor innsats spesielt for å harmonisere prøvetaking av landbruksjord og skogsjord i forbindelse med f.eks. den norske rapportering om LULUCF til Klimakonvensjonen/Paris avtalen. Inntil standardiserte protokoller på tvers av økosystemer er tilgjengelige anbefaler vi å bruke eksisterende prøvetakingsprotokoller for norske eller skandinaviske økosystem.

For norsk skog jobber NIBIO med å utvikle en nasjonalt harmonisert jordprøvetakingsprotokoll. Slike protokoller finnes også i andre skandinaviske land, f.eks. Sverige. Nedenfor har vi sammenstilt noen eksempler på hvordan ulike norske eller skandinaviske prosjekter har samlet inn informasjon om karbonlager i jordsmonn i ulike hovedøkosystemer. NINA deltar også i et europeisk prosjekt ([BENCHMARKS](#), 2023-2027) som har som målsetting å utvikle informative og kostnads-effektive indikatorer av jordhelse, der metoder for å estimere mengde karbon i jord er en del av forskningstemaet.

Torvjord

Våtmark er en naturtype med kontinuerlig høy grunnvannstand. Nedbrytning av organisk materiale går saktere enn tilførselen og det dannes torvjord. Torvlaget vokser svært sakte, men kan bli flere meter dypt. Det er myr som er den vanligste typen våtmark i Norge og i det følgende omtales datainnsamling for å beregne volum av torv i et gitt myrområde og videre beregninger av karbon i lageret i området. For naturtyper med torv som jordsmonn (organisk jordsmonn) anbefaler vi å bruke protokollen i Kyrkjeeide et al (2023; under revidering) som er koblet til karbonkalkulatoren CarbonViewer (<https://carbonviewer.nina.no>, Cretois et al. 2022). Dette er et verktøy som kan brukes i planleggingsfasen for å beregne og visualisere torvvolum og karbonmengde i et gitt areal av myr-naturtyper. For å beregne torvvolum samles det in data om torvdybder. Dette bør gjøres i et rutenett med 20 meters avstand mellom punktene i det aktuelle området. Totalt torvvolum estimeres basert på totalt areal og myrddybde. Deretter beregnes karbonlageret kalibrert opp mot torvdata hentet fra norske myrer. Karbonkalkulatoren har en innebygd database med verdier for torvegenskaper (volumvekt og karbonkonsentrasjoner). Brukeren kan selv legge inn verdier fra egne jordprøveinnsamlinger (se omtale av volumvekt og LOI over).

Jord i semi-naturlige, naturlig åpne og urbane områder

For semi-naturlig mark, naturlig åpne områder under skoggrensa og urbane områder foreligger det ingen standardiserte og internasjonalt harmoniserte protokoller for hvordan man best estimerer karbonlager i jordsmonn. For å få anbefalinger om hvordan man på best mulig måte kan skaffe slik informasjon (f.eks. i forhold til fordeling og antall prøver per areal) foreslår vi at

kommunene konsulterer aktører med jordfaglig kompetanse og påser at metodene og resultatene blir offentlig tilgjengelig slik at det, på sikt, kan utarbeides en omforent protokoll. Som et eksempel på hvordan data om karbonlager i jordsmonn kan samles inn se pilotprosjektet om jordprøvetaking og jordanalyser under programmet for Arealrepresentativ naturovervåking (Bakkestuen et al. 2023). Karbon lager i jord i urbane grønne områder er lite studert, men noen studier gir god innsikt på hva man bør tenke på når man vil samle data om jordkarbon i disse systemene. Setälä et al. (2016) viser at flere jord egenskaper knyttet til karbonlager i byparker påvirkes av vegetasjonen (hvis parken har bartrær, løvtrær eller gressmark), park alder, og jord dybde. Datainnsamling burde derfor dekke denne variasjonen (prøver under trær og ulike typer vegetasjon), få standardisert alder/kontinuitet av områdene, og bestemme jord dybde.

Jordsmonn i skog

Per dags dato har man bare foretatt én nasjonal jordsmonnprøvetaking i skog i Norge. Dette gjorde man i perioden 1988-1992 (Esser & Nyborg 1992, Strand et al. 2016). Den gangen ble prøvene tatt basert på horisonter i jordprofilene. Slik prøvetaking krever kompetanse om jordprofiler og riktig beskrivelse av disse. I Finland ble det i 2006 og 2007 gjort jordundersøkelser på nasjonal skala (Lehtonen et al. 2016) og i Sverige har jordovervåking blitt utført siden 1983 (SLU 2023). I Norge har jordprøver tradisjonelt sett blitt samlet fra de ulike jordsmonnssjiktene, mens i Finland og Sverige har de blitt tatt ved faste dybder i jordsmonnet (BioSoils, FältInstruktioner 2022).

For tiden arbeider NIBIO med et nytt nasjonalt program (nasjonalt overvåkingsprogram for jordkarbon i skogsjord og beitemark) hvor man skal ta nye prøver av skogsjord (NIBIO 2023). På grunn av forskjellig prøvetaking i de nordiske landene og for å sikre standardiserte og sammenlignbare estimater av karbonlager i jordsmonn i norsk skog så anbefaler vi på det sterkeste at kommunene følger protokollen fra NIBIO så snart den blir tilgjengelig.

Det finnes lite data om karbonlagre i naturskog i Norge som kunne bli brukt som referanseverdier i vurdering av arealbrukets påvirkninger på karbonlagrene i skogsjord. Slike data blir imidlertid produsert i pågående forskningsprosjekter, f.eks. EcoForest (2021-2025) (EcoForest 2023) som undersøker karbonlagrene i naturskogslignende grandominerte skoger og tilsvarende produksjonsskoger i Østlandet. Det nylig avsluttede forskningsprosjekt BalanC (2016-2021) (NIBIO 2021) undersøkte påvirkninger av treslagsskifte fra stedegen bjørk til gran på karbonlagre i skogsjord i Vestlandet. Forskningsprosjektet ForBioFunCtioN (2020-2024) (NINA 2023) undersøker hvordan klimaendringer, også i samspill med skogbruksaktiviteter, påvirker karbonlagring i jord i granskog av ulike bestandsaldre.

5.2 Kostnader

De høyeste kostnadene ved å skaffe data om karbonlager i jordsmonn er selve feltarbeidet. Dette inkluderer planlegging av jordprøvetaking og antallet prøver som må tas. Kostnadene vil også avhenge avstanden til området som skal undersøkes, antallet personer som trengs for å utføre arbeidet og antallet berørte naturtyper. For skog og semi-naturlige områder trenger man informasjon om jordprofil. Dette krever at de som utfører arbeidet besitter jordfaglig kompetanse. For å sikre god kvalitet anbefales det å bruke tjenester som tilbyr akkreditert analyse for de nødvendige jordparameterne. Hvis undersøkelsene ligger som krav under plan- og bygningsloven, kan i prinsippet kommunene kreve at utbyggere står for kostnadene til de pålagte undersøkelsene (se kapittel 6 om hjemmelsgrunnlag).

Her kommer ett eksempel på arbeidsomfang og pris (se **Tabell 10**). På Tastamyra i Stavanger ønsker kommunen kostnadsoversikt for karboninnholdet i jord. Arealet er på 39.8 daa, rundt 100 m bredt og 450 meter langt og består primært av torv og litt morenejord. For beregning av karboninnhold i torv kan CarbonViewer (<https://carbonviewer.nina.no>) benyttes. Kalkulatoren trenger areal og torvdybde for å regne ut karboninnholdet. Her vil vi anbefale å ta 72 (4x18) målinger av jorddybde til torvlaget i et rutenett med 20 meters avstand med en torvstikke. Hvis

en ønsker mer nøyaktige verdier, kan 15 torvprøver fordelt på fem punkter med 3 replikater, samles inn for å finne volumvekt og karbonkonsentrasjon.

Tabell 10. Tidsestimat for feltarbeid på Tastamyra vil være 1 dag til torvdybdemålinger altså 7.5 timer og 1 dag til torvprøver altså 7.5 timer per person, totalt blir det 30 arbeidstimer for feltarbeidet for to personer. I tillegg kommer prosjektledelse, rapportering og kvalitetssikring.

Timesbudsjett	Enhet	Timer
Prosjektledelse og planlegging		15.0
Rapportering		37.5
Kvalitetssikring		4.0
Feltarbeid ekskl. reise		
Torvdybde	72	11.0
Torvprøver	15	4.0
Antall personer	2	15.0
Totalt ekskl. reise		71.5

6 Hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser

I dette kapittelet har vi gjort vurderinger av om det finnes hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser eller utredninger av karbon i jord, for eksempel i kommuneplan, reguleringsplan og konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven. Dette er gjort som et nødvendig første grunnlag for at kommunen skal kunne ivareta karbonrike arealer på best mulig måte.

Deretter har vi vurdert hva som kan være egnet utforming av krav i bestemmelser, inkludert hvilket detaljnivå slike krav bør ha, samt vurderinger av hvor detaljert kunnskap en kommune bør ha og hva som kan overlates til forslagstillere for reguleringsplaner eller tiltakshavere for utbygging og andre tiltak. Detaljeringsgrad for kunnskapsinnhenting utdypes i kapittel om metodeanbefalinger. Dette kapittelet gir en oversikt over scenarier og hjemmelsgrunnlag for de ulike type tilfeller der det kan være aktuelt for kommunene å pålegge innhenting av kunnskap om karbonrike arealer, også oppsummert i tabell 11.

6.1 Finnes det hjemmelsgrunnlag?

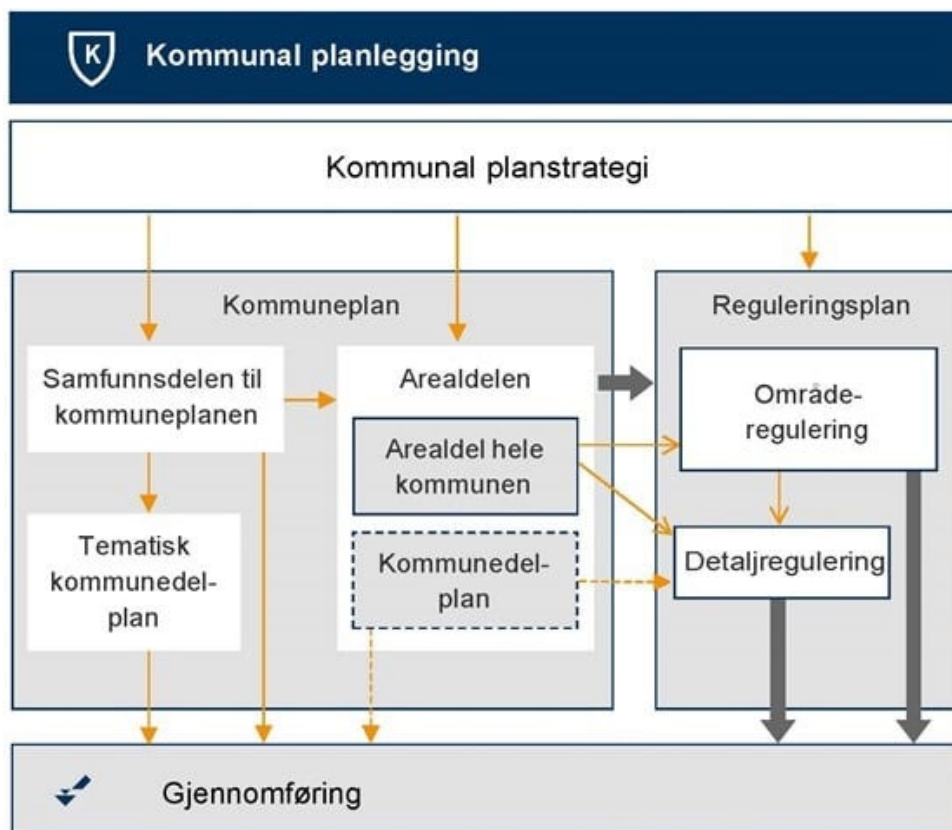
I det følgende omtaler vi hjemmelsgrunnlag for å stille krav til innhenting av kunnskap om karbon i jord, enten som del av et enkelt vedtak og/eller det kan fastsettes krav som del av vedtaket. Vi omtaler først kort generelle utredningskrav i offentlige vedtak, deretter om det kan gis planbestemmelser om karbon i jord og til sist hvordan kunnskap om karbon i jord kan inngå i behandlingen av søknader om tillatelser og eventuelle dispensasjoner.

Generelle utredningskrav

Generelle utredningskrav for offentlige vedtak framgår av forvaltningsloven. Forvaltningsorganet, i dette tilfellet kommunen, skal påse at alle saker er så godt opplyst som mulig før vedtak fattes (fv. § 17). Kravet til å påse at sakene er godt opplyst omfatter også forskrifter (fv. § 37). De overordnede kravene til eventuell utredning og kunnskapsinnhenting i plan- og bygningsloven ligger i § 4-2, som pålegger at alle forslag til planer etter loven skal ha en planbeskrivelse som beskriver planens formål, hovedinnhold og virkninger, samt planens forhold til rammer og retningslinjer som gjelder for området. Denne bestemmelsen peker videre på eventuelt ytterligere innhenting av kunnskap gjennom konsekvensutredninger, ref. pbl. § 4-2 andre ledd:

For regionale planer og kommuneplaner med retningslinjer eller rammer for framtidig utbygging og for reguleringsplaner som kan få vesentlige virkninger for miljø og samfunn, skal planbeskrivelsen gi en særskilt vurdering og beskrivelse – konsekvensutredning – av planens virkninger for miljø og samfunn.

Figur 4 viser en grafisk framstilling av ulike prosesser i plansystemet i kommunal planlegging, herunder forholdet mellom kommunal planstrategi, kommuneplan og reguleringsplan (Kommunal- og distriksdepartementet 2022). I denne sammenheng er det kommuneplanens arealdel og reguleringsplaner som er det mest aktuelle når det gjelder krav om innhenting av kunnskap om karbon i jord.



Figur 4. Grafisk framstilling av ulike prosesser i plansystemet i kommunal planlegging, herunder forholdet mellom kommunal planstrategi, kommuneplan og reguleringsplan. (Kilde: Kommunal- og distriksdepartementet 2022).

Hjemmelsgrunnlag i plan- og bygningsloven

Plan- og bygningsloven inneholder direkte hjemler for å kunne sette krav til undersøkelser om karbonrike arealer. Plan- og bygningslovens § 11-9 pkt. 8 sier at kommunen uavhengig av arealformål kan vedta bestemmelser til kommuneplanens arealdel om *forhold som skal avklares og belyses i videre reguleringsarbeid, herunder bestemmelser om miljøoppfølging og overvåking*. Kommunen kan altså allerede her vedta overordna føringer om temaer eller andre forhold som de ønsker at spesifikt skal utredes eller undersøkes i videre planarbeid. Konsekvenser av planer eller tiltak for karbonrike arealer kan være et eksempel på et slikt forhold. Kommunen kan senere, både med henvisning til dette vedtaket, men også andre hjemmelsgrunnlag som KU-forskriften og de statlige planretningslinjene for klima og klimatilpasning, pålegge utredninger og undersøkelser knyttet til karbonrike arealer og konsekvenser av planer og tiltak for slike arealer.

Bodø kommune er et eksempel på en kommune som har vedtatt et eget temakart over karbonrike arealer (avgrenset til myr og skog) som ligger ved som juridisk bindende temakart til kommuneplanens arealdel for perioden 2022-2034 (Bodø kommune 2022), se tekstboks 1. Kommuneplanens arealdel har rettsvirkning etter plan- og bygningslovens § 11-6, og den har direkte rettsvirkning (Kommunal- og moderniseringsdepartementet 2021). Det betyr at den, når den er vedtatt av kommunestyret, blir rettslig bindende for framtidig arealbruk i planområdet, med mindre saken skal avgjøres av departementet etter ev. innsigelse (§ 11-16). Dette innebærer at den enkelte ikke kan ta i bruk eller endre bruk, bebygge eller dele sin eiendom på en måte som er i strid med planen. Rettsvirkningen vil primært knytte seg til gjennomføring av nye tiltak. Dermed det legges opp til betydelige endringer i eksisterende virksomhet, vil det være aktuelt for kommunen å utarbeide en reguleringsplan, men dette er ikke et formelt krav.

I slike tilfeller kan kommunen pålegge ytterligere undersøkelser av karbonrike arealer. Dette vil være viktig for å gjøre en grundigere vurdering av i hvilken grad endringene vil påvirke de karbonrike arealene i det området som omfattes av planen. Dersom det er tiltak som krever byggetillatelse, vil det være hjemmel til å avslå søknader som er i strid med planen, men det kan søkes om dispensasjon. Også i slike tilfeller kan det være aktuelt å pålegge ytterligere undersøkelser av karbonrike arealer i det området som omfattes, som en viktig del av det kunnskapsgrunnlaget som vurderes som del av beslutningsprosessen om det skal gis byggetillatelse, ev. vurdering av vilkår som settes til denne for å unngå nedbygging av karbonrike arealer.

Bestemmelser som eksempelet fra Bodø kan altså brukes som grunnlag for å kreve at tiltakshaver undersøker karbon i jord. Da er det opp til søker å dokumentere om et tiltak vil redusere størrelse eller funksjon av «særlig karbonrike naturtyper». Hvis dokumentasjon mangler, kan søknaden avvises som ufullstendig. Bestemmelsen fra Bodø kan imidlertid være noe tvetydig, siden den sier at reduksjon av størrelse og funksjon av «disse naturtypene [myr og skog med høy bonitet] skal unngås». Videre kan den gi åpning for at (andre) karbonrike områder/naturtyper kan påvirkes, hvis det gjennomføres kompenserende tiltak. En mer konsekvent ordlyd vil tydeliggjøre ansvars plassering og ha en mer helhetlig tilnærming til karbon i jord. Fordelen med Bodø-bestemmelsen er at den setter et kvalitetskrav («unngås»/«kompenserende tiltak»). Et krav om undersøkelse vil imidlertid ha liten reell verdi hvis kommunen lar være å ta hensyn til resultatene.

Hjemmelsgrunnlaget påvirkes også av hvorvidt kravene er forholdsmessige. Kravene må være nødvendige og ikke innebære urimelige konsekvenser for de som berøres. Spørsmål rundt forholdsmessigheten av slike undersøkelser både et praktisk og rettslig spørsmål. Forholdsmessighet og rimelighet av vilkår og kostnader blir jevnlig drøftet i juridisk teori, og tidvis behandlet i domstolene. Et relevant eksempel for dette tilfellet er Høyesteretts dom HR-2002-1238-A (Rt-2003-764) som gjaldt krav om opparbeiding av en sykkelsti som vilkår for dispensasjon (omtalt som Bærums Verk- eller Sykkelsti-dommen). Utbygger mente kravet var uforholdsmessig, men domstolen avviste dette (se særlig avsnitt 82-83). Så lenge krav er nødvendige for å oppfylle et relevant mål, skal det mye til for å avvise det som urimelig tyngende.

Anbefalinger rundt formuleringer av krav og virkeområde omtales senere i dette kapittelet.

Tekstboks 1. Eksempel fra Bodø kommune.

I kommuneplanens arealdel for Bodø kommune har kommunen tydeliggjort hva som er juridisk bindende bestemmelser og hva som er retningslinjer for hvert av de teamene som omfattes. Kommunen presiserer forskjellen mellom bestemmelser og retningslinjer i innledningen til kommuneplanens arealdel. Mens plankart og bestemmelser er juridisk bindende, er retningslinjer ikke juridisk bindende og kan dermed ikke brukes som direkte hjemmelsgrunnlag for vedtak etter planen, men *skal være førende for videre planlegging, forvaltning og saksbehandling*.

Bodø kommune har formulert følgende rettslig bindende regler for karbonrike naturtyper i § 1.13 Karbonrike naturtyper:

Myr og skog med høy bonitet er særlig karbonrike naturtyper. Inngrep eller tiltak som reduserer størrelse eller funksjon til disse naturtypene skal unngås. Dersom et tiltak påvirker karbonrike naturtyper, må det gjennomføres kompenserende tiltak. Eks. på dette kan være restaurering av andre naturområder.

De har videre formulert følgende retningslinje knyttet til temakartet for karbonrike naturtyper:

Retningslinje

Temakart 15 viser en oversikt over karbonrike naturtyper i Bodø kommune.

For temakartet for karbonrike naturtyper tolker vi dette dithet at det i hver enkelt sak som berører de nærmere angitte karbonrike arealene, vil være aktuelt å pålegge undersøkelser av både tilstand (for naturtype og jord) og utstrekning av naturtypen med karbonrike arealer før det tas videre beslutninger om reguleringsplaner, byggesaker eller endringer av eksisterende virksomhet i slike områder.

Det vil være en fordel om kommunen i kommuneplanens arealdel har vedtatt overordnede bestemmelser om å skaffe kunnskap om og intensjon om å ivareta karbonrike arealer. Slike bestemmelser kan gjentas og konkretiseres i eventuelle reguleringsplaner, og det kan der stilles krav om undersøkelser eller utredninger av karbon i jord (jordprøver eller lignende) som del av bestemmelsene. Dette framgår av plan- og bygningsloven (pbl.) § 11-9 nr. 8 (kommuneplan), som nærmere omtalt over.

Plan- og bygningslovens § 12-7 omhandler hvilke bestemmelser som kan fastsettes i en reguleringsplan. Punkt 12 fastslår at det i nødvendig utstrekning kan gis bestemmelser med krav om nærmere undersøkelser før gjennomføring av planen, samt undersøkelser med sikte på å overvåke og klargjøre virkninger for miljø, helse, sikkerhet, tilgjengelighet for alle og andre samfunnsinteresser, ved gjennomføring av planen og enkelttiltak i denne. Vi anser at karbonrike arealer omfattes av miljøbegrepet.

Det vil være opp til kommunen å sikre at utredningskravene som fastsettes i planer eller KU, fungerer som en konkret bestilling til slike i både omfang og metode for undersøkelser f.eks. jordprøver og beregninger av karbonverdier og eventuell påvirkning fra tiltaket på dette.

Det kan oppstå situasjoner hvor en ny arealdel i kommuneplan (KPA) gir krav (f.eks. om utredning av karbon for et område), mens en eldre reguleringsplan for samme område mangler tilsvarende krav. Hvis det er motstrid mellom to planer for et område, går den nyeste planen foran den eldre, se pbl. § 1-5 andre ledd (se også Ot.prp. nr. 32 (2007–2008) s. 174). Eksisterende planer (altså gamle reguleringsplaner) vil i prinsippet være gjeldende så lenge de ikke er uttrykkelig opphevet. Men hvis nyere plan (KPA eller annen reguleringsplan) har innhold som avviker fra den gamle planen (altså skaper motstrid), og den nyere planen er taus om hvilken plan som har forrang, så er det nyeste plan som gjelder (pbl. § 1-5). Dette vil innebære at det nyere (KPA-) kravet om karbonutredning vil gjelde for området, sammen med (resten av) den eldre reguleringsplanen. Hvis tiltakshaver ønsker å unngå et krav, må kommunen evt. innvilge dispensasjon.

Et vesentlig poeng er også at planer bare gjelder nye tiltak/tillatelse eller endret virksomhet – det vil si at en ny KPA (f.eks. med strengere regler om overvannshåndtering) bare blir aktuell når og hvis eiendommer innenfor en gammel reguleringsplan søker om tillatelse til tiltak (eller iverksetter tiltak som er fritatt fra søknadsplikt).

Behandling av søknad om tillatelse og ev. dispensasjon

Søknader om tillatelse skal i hht. pbl. § 21-2 være skriftlig og gi de opplysninger som er nødvendige for at kommunen skal kunne gi tillatelse til tiltaket. Det skal også framgå av søknaden om det søkes om dispensasjon. Opplysninger om eventuelle karbonrike arealer som blir påvirket av tiltaket det søkes om tillatelse til, må inngå som en del av denne informasjonen dersom det ligger føringer knyttet til slike arealer i arealplanen eller reguleringsplanen. Kommunen kan i hht. pbl. § 19-2 gi dispensasjon (varig eller midlertidig) fra bestemmelser som er fastsatt i eller i medhold av pbl., og det kan fastsettes vilkår for dispensasjonen. Loven setter imidlertid opp noen tydelige skranker for når dispensasjon kan gis i pbl. § 19-2 annet ledd:

Dispensasjon kan ikke gis dersom hensynene bak bestemmelsen det dispenseres fra, hensynene i lovens formålsbestemmelse eller nasjonale eller regionale interesser, blir vesentlig tilside-satt. Fordelene ved å gi dispensasjon skal være klart større enn ulempene. Det kan ikke dispenseres fra saksbehandlingsregler.

For å kunne gjøre en grundig vurdering av om det skal gis dispensasjon, krever det tilstrekkelig med opplysninger om de arealene som blir berørt av en eventuell dispensasjon.

Dersom det er vedtatt bestemmelser knyttet til karbonrike arealer i kommuneplanens arealdel eller i reguleringsplan og det gis dispensasjon til et tiltak som vil ha negative konsekvenser for slike arealer, kan kommunen sette vilkår til dispensasjonen. Dette kan for eksempel knytte seg til beliggenhet for tiltaket for å unngå mest mulig påvirkning eller det kan være knyttet til

kompenenserende tiltak på tilsvarende arealer andre steder. Dersom det ikke foreligger bestemmelser i planer, vil det trolig likevel være mulig å fastsette vilkår i tråd med lovens ordlyd, ikke minst dersom tiltaket også har negative konsekvenser for naturmangfold, ref. de miljørettslige prinsippene i Lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven; nml.) kap. II.

Kommuner kan altså ved rettslig bindende bestemmelser som omtalt over kreve at det ved tiltak som vil kunne påvirke karbonrike arealer, skal pålegges undersøkelser av de karbonrike arealene, for eksempel gjennom jordprøver og kartlegging. Dette som grunnlag for endelig vurdering av tillatelse til å gjennomføre tiltaket eller for å kunne gi dispensasjon. Eventuelle krav til undersøkelser bør bygge på en begrunnelse av hvorfor dette er nødvendig, og omfanget av de pålagte undersøkelsene bør være i samsvar med arealenes betydning for karbon og omfanget av reguleringsplanen. Hjemmelsgrunnlaget påvirkes også av hvorvidt kravene er forholdsmessige. Kravene må være nødvendige og ikke innebære urimelige konsekvenser for de som berøres. Spørsmål rundt forholdsmessigheten av slike undersøkelser både et praktisk og rettslig spørsmål. Forholdsmessighet og rimelighet av vilkår og kostnader blir jevnlig drøftet i juridisk teori, og tidvis behandlet i domstolene. Et relevant eksempel for dette tilfellet er Høyesteretts dom HR-2002-1238-A (Rt-2003-764) som gjaldt krav om opparbeiding av en sykkelsti som vilkår for dispensasjon (omtalt som Bærums Verk- eller Sykkelsti-dommen). Utbygger mente kravet var uforholdsmessig, men domstolen avviste dette (se særlig avsnitt 82-83). Så lenge krav er nødvendige for å oppfylle et relevant mål, skal det mye til for å avvise det som urimelig tyngende.

Det kan oppstå situasjoner hvor en ny KPA gir krav (f.eks. om utredning av karbon for et område), mens en eldre reguleringsplan for samme område mangler tilsvarende krav. Hvis det er motstrid mellom to planer for et område, går den nyeste planen foran den eldre, se pbl. § 1-5 andre ledd (se også Ot.prp. nr. 32 (2007–2008) s. 174). Eksisterende planer (altså gamle reguleringsplaner) vil i prinsippet være gjeldende så lenge de ikke er uttrykkelig opphevet. Men hvis nyere plan (KPA eller annen reguleringsplan) har innhold som avviker fra den gamle planen (altså skaper motstrid), og den nyere planen er taus om hvilken plan som har forrang, så er det nyeste plan som gjelder (pbl. § 1-5). Dette vil innebære at det nyere (KPA-)kravet om karbonutredning vil gjelde for området, sammen med (resten av) den eldre reguleringsplanen. Hvis tiltakshaver ønsker å unngå et krav, må kommunen evt. innvilge dispensasjon.

Et vesentlig poeng er også at planer bare gjelder ny eller endret virksomhet – det vil si at en ny KPA (f.eks. med strengere regler om overvannshåndtering) bare blir aktuell når og hvis eiendommer innenfor en gammel reguleringsplan søker om tillatelse til tiltak (eller iverksetter tiltak som er fritatt fra søknadsplikt).

Hvor langt forvaltningen kan gå i å fastsette vilkår, beror på en konkret fortolkning av lovens ordlyd, formål og forarbeider. Adgangen til å stille vilkår ved dispensasjon fra reguleringsplan framgår av pbl. § 7 første ledd. Den gir hjemmel for dispensasjon når særlige grunner foreligger. Hvilke vilkår som kan settes, er omtalt i forarbeidene til pbl. § 7, Ot.prp.nr.56 (1984-1985) side 102 der det heter at vilkårene må ligge innenfor rammen av de hensyn loven skal ivareta (Miljøverndepartementet 1983). Selv om denne refererer til tidligere lov, er den fortsatt relevant for vurdering av eventuelle vilkår for ivaretagelse av karbonrike arealer. Det må også være en naturlig sammenheng mellom dispensasjon og vilkår, f.eks. slik at vilkår så langt som mulig kompenserer for ulemper o.l. dispensasjon ellers kan medføre. Denne viser riktignok til den tidligere plan- og bygningsloven av 1985, men prinsippene er videreført i gjeldende lov. Adgang til vilkår er også tatt inn i gjeldende lov § 19-2 første ledd.

Konsekvensutredningsforskriften og forholdet til karbonrike arealer

Plikten til konsekvensutredninger framgår som nevnt av plan- og bygningsloven, mens virkeområdet presiseres nærmere i forskrift om konsekvensutredninger (KU-forskriften; Lovdata 2017). Kapittel 2 omhandler hvilke planer og tiltak som omfattes av forskriften. I § 6 framgår det at følgende planer og tiltak alltid skal konsekvensutredes og ha planprogram eller melding:

- a. *kommuneplanens arealdel etter § 11-5 og regionale planer etter plan- og [byggningsloven § 8-1](#), kommunedelplaner etter [§ 11-1](#), og områdereguleringer etter [§ 12-2](#) når planene fastsetter rammer for tiltak i vedlegg I og II*
- b. *reguleringsplaner etter plan- og byggningsloven for tiltak i vedlegg I. Unntatt fra dette er reguleringsplaner der det konkrete tiltaket er konsekvensutredet i en tidligere plan og der reguleringsplanen er i samsvar med denne tidligere planen*
- c. *tiltak i vedlegg I som behandles etter andre lover enn plan- og byggningsloven.*

Når det gjelder planer og tiltak etter andre lover som alltid skal konsekvensutredes, men ikke ha melding, omfattes følgende, jf. § 7:

- a. *tiltak i vedlegg II som behandles etter energi-, vannressurs- eller vassdragsreguleringsloven*
- b. *planer og programmer etter andre lover som fastsetter rammer for tiltak i vedlegg I og II og som vedtas av et departement.*

Av § 8 framgår det at planer og tiltak skal konsekvensutredes hvis de kan få vesentlige virkninger for miljø eller samfunn. Følgende planer og tiltak skal konsekvensutredes hvis de kan få vesentlige virkninger etter § 10, men ikke ha planprogram eller melding:

- a. *reguleringsplaner for tiltak i vedlegg II. Unntatt fra dette er reguleringsplaner der det konkrete tiltaket er konsekvensutredet i en tidligere plan og der reguleringsplanen er i samsvar med denne tidligere planen.*
- b. *tiltak i vedlegg II som behandles etter en annen lov enn plan- og byggningsloven.*

KU-forskriftens kap. 4 redegjør for krav til innholdet i planprogram og melding med forslag til utredningsprogram. Utredningsprogrammet skal inneholde en beskrivelse av planen eller tiltaket, det berørte området og de problemstillingene som i den konkrete saken anses som viktige for miljø og samfunn. Relevante og realistiske alternativer og hvordan disse skal vurderes i konsekvensutredningen, skal også inkluderes i forslag til utredningsprogram. KU-forskriftens kap. 5 omhandler blant annet krav til innholdet i konsekvensutredningen, hva som særlig gjelder for overordnede planer, hva planen eller tiltaket skal omfatte og beskrivelse av faktorer som kan bli påvirket, samt vurdering av vesentlige virkninger for miljø og samfunn.

Veilederen for konsekvensutredninger for klima og miljø (Veileder M-1941; Miljødirektoratet 2023), utgitt av Miljødirektoratet, gir anerkjent metodikk for utredning av klima- og miljøtema, og beskriver også krav til prosess og innhold. Veilederen inneholder anerkjente metoder for å beregne virkninger av planer og tiltak på klima og miljø. Den er utarbeidet til bruk ved konsekvensutredninger av alle planer og tiltak, og angir metoder for å kartlegge klima- og miljøtema, sette verdier og vurdere påvirkning og konsekvens. Hvilke temaer som skal vurderes for en plan eller et tiltak, framgår av KU-forskriftens § 21. For en fullstendig KU, må veileder om klima og miljø suppleres med fagveiledere utgitt av andre sektorer, herunder Statens vegvesens Håndbok V712 for vei- og transportprosjekter.

Veilederen understreker at kravene til hva som skal utredes må konkretiseres og tilpasses den enkelte plan eller tiltak. Den understreker videre at det å klargjøre behovet for utredninger er en sentral del av arbeidet med planprogram eller melding med utredningsprogram. Utredningskravene som fastsettes der, fungerer som en bestilling til den som skal gjøre arbeidet og bør derfor være konkrete og tilpasset den enkelte plan eller tiltak. Hvis man ikke har vært presis nok, risikerer man å ikke få den kunnskapen man trenger. Pålegg om undersøkelser av karbonrike arealer og konsekvenser av tiltak eller plan for slike arealer, er et eksempel på et konkret behov for utredning som kan inngå som del av et utredningsprogram.

Som det framgår over, er det altså krav til at problemstillingene som er viktig for miljø og samfunn skal utredes. Det kan pålegges innhenting av kunnskap om konsekvenser av tiltak og planer som omfattes av KU-forskriften. Hverken forskrift eller veileder omtaler spesifikt konsekvenser av planer og tiltak for karbonrike arealer eller metoder for innhenting av dette. Imidlertid er det en generell henvisning til økosystemtjenester og klimagassutslipp. Karbonlagring i jord er knyttet

til en slik økosystemtjeneste, og nedbygging/endring og øvrige inngrep i slike arealer medfører betydelige klimagassutslipp. Karbonrike arealer inngår dermed etter vår vurdering naturlig i de temaer som er omfattet.

For arealplaner og andre vedtak som kan medføre vesentlige virkninger for miljø og samfunn, vil det kreves utredning av virkninger av planer/vedtak. Hva som vurderes som vesentlige virkninger beskrives i Rundskriv T-2/16. Dette er under revisjon pr mai 2023: «I påvente av regjeringens vurdering av nye regler om nedbygging og bruk av myr og annen våtmark, skal innsigelse vurderes dersom arealplaner åpner for nye torvuttak.»

Et spørsmål er om når vil en plan som innebærer arealinngrep og potensielle utslipp fra karbon i jord anses å ha «vesentlige virkninger»? Kravene til konsekvensutredning etter pbl. § 4-2 er nærmere spesifisert i KU-forskriften §§ 8 til 12. Etter § 8 skal alle planer og tiltak i forskriftens vedlegg II vurderes nærmere. Kriteriene for vurdering er angitt i § 10. Vesentlige klimagassutslipp er uttrykkelig nevnt i § 10 tredje ledd bokstav g. Vurderingen av de enkelte temaene i § 10 er utdypet i KMD og KLDs veileder fra 2017 «Når skal tiltak i vedlegg II konsekvensutredes?» (Klima og miljødepartementet 2017) – se særlig s 49 om klimagassutslipp.

Kriteriet om virkninger 'vesentlighet' er skjønnsmessig, og må derfor vurderes for det enkelte tilfelle. En oppsummering av kravene til vurderingen finnes i forskriftens § 10 fjerde ledd, og inkluderer «intensitet og kompleksitet, sannsynlighet [...] mulighet for å reversere eller begrense [virkningene] samt samlede virkninger av forslaget til plan eller tiltak og andre eksisterende, godkjente eller planlagte planer eller tiltak». Miljødirektoratet har for øvrig laget en web-basert sjekkliste vurderingen av KU-plikt etter § 10: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/konsekvensutredninger/krav-til-prosess-og-innhold/konsekvensutrede-tiltak/>

På grunn av reglernes utforming vil det uansett være nødvendig å gjøre en vurdering i hvert tilfelle – det er ingen absolutt grense. I prinsippet kunne man argumentere med at hvert gram karbon/CO₂ tilført atmosfæren vil bidra negativt til klimaet. Imidlertid er et slikt standpunkt neppe i tråd med reglernes intensjon. Poenget må være å fange opp situasjonene hvor planer og tiltak har store utslipp objektivt sett, eller bidrar til større utslipp enn sammenlignbare prosjekter.

I tilfeller der KU-regelverket ikke vil være tilstrekkelig for å stille krav om karbonundersøkelser, og hvor det er behov for supplerende krav gjennom planbestemmelser, vil det være behov for kommunen å f.eks. ta inn en bestemmelse om at alle planer skal redegjøre for karbonutslipp fra grunnen, og evt. at utslipp skal unngås/kompenseres gjennom andre tiltak. Når det dreier seg om hvilke bestemmelser i KU-forskriften som gir kommunen anledning til å pålegge forslagsstiller/utbygger/tiltakshaver å gjennomføre undersøkelser, er utgangspunktet for regelverket at det er forslagsstiller som skal bære kostnadene ved utarbeiding av KU, inkludert nødvendige undersøkelser (se forskriften § 4 tredje ledd). Hvis planen eller tiltaket utløser plikt til konsekvensutredning (ref. ovenfor), setter § 17 krav om at forslagsstiller skal utarbeide denne. Krav til innhold i utredningen følger av de videre paragrafene i forskriftens kapittel 5. Særlig relevant er § 19 (bl.a. «anslag over typen og mengden avfall, reststoffer, utslipp og forurensning som vil produseres i bygge- og driftsfasen», se første ledd bokstav c) og § 21 (bl.a. «utslipp til luft, herunder klimagassutslipp», se første ledd syvende strekpunkt).

Som det framgår over, er det altså krav til at problemstillingene som er viktig for miljø og samfunn skal utredes. Det kan pålegges innhenting av kunnskap om konsekvenser av tiltak og planer som omfattes av KU-forskriften. Hverken forskrift eller veileder omtaler spesifikt konsekvenser av planer og tiltak for karbonrike arealer eller metoder for innhenting av dette. Imidlertid er det en generell henvisning til økosystemtjenester og klimagassutslipp. Karbonlagring i jord er knyttet til en slik økosystemtjeneste, og nedbygging/endring og øvrige inngrep i slike arealer medfører betydelige klimagassutslipp. Karbonrike arealer inngår dermed etter vår vurdering naturlig i de temaer som er omfattet.

Lov om forvaltning av naturens mangfold (Naturmangfoldloven)

Naturmangfoldloven er et overordnet juridisk rammeverk for natur. Norsk miljøforvaltning har det overordnet ansvaret for loven og å utvikle metoder for å samle inn og sammenstille kunnskap om naturen og konsekvenser av ulike typer påvirkninger. [Naturmangfoldlovens kapittel II](#) inneholder regler om krav til kunnskapsgrunnlag (§ 8), føre-var-prinsippet (§ 9), økosystemtilnærming og samlet belastning (§ 10), prinsippet om at kostnader ved forringelse av miljøet skal dekkes av den som står for tiltaket (§ 11) og at det skal brukes teknikker og driftsmetoder som er forsvarlige for miljøet (§12) (Lovdata 2009).

Prinsippene i naturmangfoldloven inneholder et minimum av krav og kjørerregler for hva slags vurderinger som må gjøres, og hvordan de skal synliggjøres i beslutninger og vedtak som berører naturmangfold. Reglene i nml. §§ 8-12 skal "legges til grunn som retningslinjer", og kan påvirke vurderingen av om vilkårene er oppfylt. Hvis kunnskapsgrunnlaget er mangelfullt, kan nml. § 8 i sammenheng med § 7 føre til at et planforslag avvises eller at en søknad avslås mv. Hovedregelen er imidlertid at nml. ikke gir selvstendig hjemmel for krav om innhenting av ny kunnskap, men prinsippene vil påvirke tolkningen og bruken av andre utredningskrav.

Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning

Generelt sett er statlige veiledere og retningslinjer, herunder statlige planretningslinjer, ikke rettslig bindende for kommunene. Det nærmere rettslige forholdet mellom stat og kommune beskrives i *Meld. St. 12 (2011-2012) Stat og kommune - styring og samspel*. Denne meldingen omhandler blant annet omtale av de nasjonale virkemidlene i plansystemet. Den viser til at planvedtak som binder arealdisponeringen i utgangspunktet er lagt til kommunene (og myndigheten er lagt til de folkevalgte organene), men at de også skal sikre de nasjonale og regionale interessene gjennom sine planer. Statlige planretningslinjer (som erstattet virkemiddelet rikspolitiske retningslinjer) er ett av de statlige planoppgavene og virkemidlene. De er mer konkrete og avgrenset enn de mer overordna nasjonale forventningene til regional og kommunal planlegging, og skal klargjøre mål som skal legges til grunn for lokal planlegging og vedtas av Kongen i statsråd.

Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning er utarbeidet med hjemmel i plan- og bygningslovens § 6-2, og trådte i kraft i 2018 (Klima- og miljødepartementet 2018). Nåværende retningslinjer erstattet da Statlig planretningslinje 4. september 2009 nr. 1167 for klima- og energiplanlegging i kommunene. Formålet med retningslinjene er at kommunene, fylkeskommunene og staten gjennom planlegging og øvrig myndighets- og virksomhetsutøvelse skal stimulere til, og bidra til, reduksjon av klimagassutslipp, samt økt miljøvennlig energiomlegging. Planleggingen skal også bidra til at samfunnet forberedes på og tilpasses klimaendringene (klimatilpasning). Dette betyr at disse retningslinjene skal innarbeides i alle plansakene eller alle planleggingsfasene e.l. i kommunen. Videre framgår det av punkt 1 annet avsnitt at klimatilpasning og utslippsreduksjoner må sees i sammenheng der det er relevant og at det er viktig å planlegge for løsninger som både reduserer utslippene og reduserer risiko og sårbarhet som følge av klimaendringer. Av punkt 1 tredje avsnitt framgår det videre at formålet med planretningslinjene er å:

- a. sikre at kommunene og fylkeskommunene prioriterer arbeidet med å redusere klimagassutslipp, og bidra til at klimatilpasning ivaretas som hensyn i planlegging etter plan- og bygningsloven.
- b. sikre mer effektiv energibruk og miljøvennlig energiomstilling i kommunene.
- c. sikre at kommunene bruker et bredt spekter av sine roller og virkemidler i arbeidet med reduksjon av klimagassutslipp og klimatilpasning, og bidra til avveining og samordning når utslippsreduksjon og klimatilpasning berører eller kommer i konflikt med andre hensyn eller interesser.

Under punkt 3 første avsnitt står det at kommunene og fylkeskommunene i sin overordnede planlegging skal innarbeide tiltak og virkemidler for å redusere utslipp av klimagasser, der det også tas hensyn til effektiv ressursbruk for samfunnet. Dette bør inkludere tiltak mot avskoging, og eventuelt økt opptak av CO₂ i skog og andre landarealer, og videre sikre mer effektiv energibruk og miljøvennlig energiomlegging i tråd med disse retningslinjene.

Planretningslinjene styrker koblingen mellom klima- og naturhensyn i kommunal planlegging. Veilederen som er utarbeidet av Miljødirektoratet for retningslinjene, gjelder planlegging av arealbruk for klimatilpasning (Miljødirektoratet 2023). Den er ikke tydelig på hvordan utslipp fra ulike typer arealbruk og endringer i disse omfattes, men retningslinjene påpeker at planer som behandler klima- og energispørsmål bør være strategisk innrettet, og bygge på grundige analyser av nåsituasjonen. Videre understreker den at det bør legges vekt på samarbeid om langsiktige mål, samtidig som det utredes tiltak som kan gjennomføres på kort sikt. Planen bør inneholde informasjon om alle direkte klimagassutslipp innenfor kommunens grenser, fordelt på kilder og sektorer.

De fleste kommuner har utarbeidet energi- og klimaplaner med hjemmel i statlige planretningslinjer. Slike planer kan omfatte kunnskap om og tiltak for ivaretagelse av karbonrike arealer og tiltak for å redusere CO₂ utslipp fra slike arealer.

De statlige planretningslinjene for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning er koblet til et annet statlig planleggingsvirkemiddel, nemlig innsigelser. En eventuell innsigelse kan rette seg mot bla. at det mangler konsekvensutredning eller at denne er mangelfull (se veileder om konsekvensutredninger for planer etter pbl.; Kommunal- og distriksdepartementet 2021), eller at saken ikke er utredet og vurdert i tråd med naturmangfoldloven eller andre relevante sektorlover. Klima- og miljødepartements Rundskriv T-2/16 angir nærmere om nasjonale og regionale interesser på miljøområdet og klargjøring av miljøforvaltningens innsigelsespraksis (Klima og miljødepartementet 2021). En innsigelse skal derfor være forankret i, og begrunnet ut fra nasjonalt eller viktige regionale mål, rammer og retningslinjer.

Rundskriv T-2/16 av februar 2021 utgitt av Klima- og miljødepartementet klargjør nasjonale og regionale interesser på miljøområdet og miljøforvaltningens innsigelsespraksis. Under 3.4 Klima, er det angitt følgende om mulige innsigelser knyttet til de nevnte planretningslinjene:

Vesentlige mangler i innhold i arealplan som behandler klima- og energispørsmål, jf. Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning. I påvente av regjeringens vurdering av nye regler om nedbygging og bruk av myr og annen våtmark, skal innsigelse vurderes dersom arealplaner åpner for nye torvuttak.

Kunnskap om karbon i jord i kommuneplanens arealdel eller reguleringsplaner omfattes altså av det som omtales om mulig innsigelsesgrunn med begrunnelse av vesentlige mangler i arealplan som behandler klima- og energispørsmål.

For å unngå risiko for innsigelser, bør kommuner beskrive nærmere hvilken kunnskap de har lagt til grunn og hvilke vurderinger som er gjort mht. til mulige konsekvenser av tiltak/plan for karbonrike arealer i det gjeldende området, ev. egen vedtatt plan som er utarbeidet som oppfølging av de statlige planretningslinjene for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning.

I EVAPLANs kapittel om klima (kap. 9, Hanssen og Aarsæther (red.) 2018) drøftes de statlige planretningslinjene (de som gjaldt før klimatilpasning ble tatt inn i revidert versjon som trådte i kraft den 28.09.2018) og deres rettslige betydning sammen med en undersøkelse av hvordan kommunene selv har vurdert hvordan de har påvirket egen planlegging. Selv om planretningslinjen har en eksplisitt forventning om at kommunene skal være i forkant når det kommer til klimapolitikk, er den konkrete planretningslinjen for klima- og energiplanlegging i kommunene den som i minst grad rapporteres å påvirke den kommunale planleggingen. EVAPLAN konkluderer med at planretningslinjen har ført til at nesten alle kommuner har en plan, men at det er lite som tyder på at den gjennomsyrer kommunens planverk for øvrig. Undersøkelsen som er gjennomført som del av EVAPLAN viser også at det er store forskjeller mellom store og små kommuner. Mens 54 prosent av plansjefene i store kommuner oppgir at planretningslinjen påvirker kommunal planlegging, oppgir kun 27 prosent av plansjefer i småkommuner det samme.

Tabell 11. Innhenting av kunnskap om karbonrike arealer med hjemler i plan- og bygningsloven (pbl.) og KU-regelverket.

Del av planprosessen	Hjemmelsgrunnlag	Relevant eksisterende kunnskap om karbonrike arealer	Mulig pålegg om kunnskapsinnhenting i prosessen og/eller vedtak
Kommuneplanens areal-del (KPA)	Pbl. § 11-9 punkt 8	Nasjonale kart over hovedøkosystemer og naturtyper. Forskningsresultater om karbonlagring i jord knyttet til ulike jordtyper og naturtyper/økosystemer. NIBIOs karbonkalkulator og andre lignende verktøy.	Rettslig bindende bestemmelser i KPA, eventuelt koblet til juridisk bindende kart eller tematisk kart som retningslinje.
Utarbeidelse av kommunal energi- og klimaplan i hht. statlige planretningslinjer for energi- og klimaplanlegging og klimatilpasning	Statlige planretningslinjer for klima- og energi-planlegging og klimatilpasning, med hjemmel i pbl. § 6-2.	Nasjonale kart over hovedøkosystemer og naturtyper. Forskningsresultater om karbonlagring i jord knyttet til ulike jordtyper og naturtyper/økosystemer. Forskningsbasert kunnskap om konsekvenser av ulike tiltak på karbonlagring i jord.	Omtale om at det bør innhentes dersom tiltak eller planer kan ha negative konsekvenser for karbonrike arealer som del av kommunal energi- og klimaplan
Utarbeidelse av forslag til reguleringsplan	Pbl. § 12-7, punkt 12	Som over.	Fastsetting av undersøkelser knyttet til karbonlagring i jord før gjennomføring av planen og som del av gjennomføring av enkelttiltak i planen.
KU-program	Forskrift om konsekvens-utredninger, §§ 6-8.	Som over.	Krav om utredning av konsekvenser av tiltak/plan på karbonrike arealer.
Søknad om tillatelse til tiltak i område omfattet av en KPA eller reguleringsplan med bestemmelser om karbonrike arealer 1. Ny KPA, gammel reguleringsplan 2. Gammel KPA og nyere reguleringsplan med krav om innhenting av kunnskap om karbonrike arealer		Som over.	Krav til dokumentert kunnskap om konsekvenser av tiltak/plan for karbonrike arealer som del av dispensasjonssøknad og med begrunnelse i krav som er satt i vedtatt KPA eller reguleringsplan. Hvis nyere plan (KPA eller annen reguleringsplan) har innhold som avviker fra den gamle planen (altså skaper motstrid), og den nyere planen er taus om hvilken plan som har forrang, så er det nyeste plan som gjelder (pbl. § 1-5). Hvis tiltakshaver ønsker å unngå et krav, må kommunen evt. innvilge dispensasjon.
Søknad om dispensasjon fra vedtatt KPA eller reguleringsplan med bestemmelser om innhenting av kunnskap om eller krav til spesielle hensyn til karbonrike arealer	Pbl. kap. 19	Som over. Forskningsbasert kunnskap om konsekvenser av ulike tiltak på karbonlagring i jord.	Krav til dokumentert kunnskap om konsekvenser av tiltak/plan for karbonrike arealer som del av dispensasjonssøknad og med begrunnelse i krav som er satt i vedtatt KPA eller reguleringsplan.

6.2 Anbefalinger for egnet utforming av krav i bestemmelser og detaljeringsnivå for kommune og forslagsstiller

I utforming av krav til kunnskapsinnhenting bør det skilles mellom krav til kunnskapsgrunnlaget for det enkelte vedtak og krav som kan fastsettes som del av vedtaket, slik vi har omtalt over. Dette kan belyses med et eksempel fra reguleringsplaner. For at kommunen skal kunne vedta en reguleringsplan, må grunnlaget være tilstrekkelig utredet. Generelle krav om utredning/kunnskapsgrunnlag følger av pbl. § 4-2 og fv. §§ 17/37. Noen reguleringsplaner vil også omfattes av krav til konsekvensutredning. Kravene etter pbl., fv. og KU-forskriften må fastlegges i lys av statlige planretningslinjer (SPR) og nml. kap. II. Kommunen kan kreve at forslagsstiller utfører nødvendig kunnskapsinnhenting. Dette er altså et krav *til* reguleringsplanen, som retter seg mot forslagsstiller.

I reguleringsplanen kan kommunen ta inn planbestemmelser, som kan innebære krav til etterfølgende planer eller tiltak. For eksempel kan kommunen innen rammen av § 12-7 nr. 3 eller nr. 12 fastsette at karbonnivå og påvirkning på dette skal kartlegges før det gis tillatelse til tiltak. Dette vil være et krav *i* planen, som retter seg mot senere forslagsstillere eller tiltakshavere. KU-er kan omfatte krav om innhenting av kunnskap om (og konsekvenser for) karbonrike arealer, når de faller inn under tiltak og planer som krever KU.

Dersom et planforslag ikke omfattes av krav om konsekvensutredninger, kan kommunen likevel stille krav om innhenting av kunnskap om karbon i jord i tråd med statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning (som omtalt over). Alternativt kan det fastsettes juridisk bindende bestemmelser og retningslinjer i kommuneplanens arealdel (jf. pbl. § 11-9, punkt 8) eller som et krav til en reguleringsplan (jf. pbl. § 12-7, punkt 12). I det første tilfellet anbefaler vi en tilnærming i likhet med det som Bodø kommune har gjort, og som er omtalt over. Vi anbefaler imidlertid at det i den rettslig bindende bestemmelsen konkret står at det skal foretas undersøkelser for å innhente kunnskap om karbon i jord i konkrete saker (tiltak og planer) som vil kunne ha påvirkning på karbonrike arealer. En slik bestemmelse kan enten vise til et retningsgivende kart over kjente karbonrike arealer, slik Bodø har gjort, eller det kan vise til andre kartgrunnlag (nasjonale eller kommunale) som skal legges til grunn for ytterligere undersøkelser.

I Miljødirektoratets veileder om [krav til kunnskapsgrunnlaget i en konsekvensutredning - Miljødirektoratet \(miljodirektoratet.no\)](https://www.miljodirektoratet.no), står det at det er opp til kommunen å vurdere hvilke problemstillinger som er viktig for miljø og samfunn. Karbonverdier kan dermed inngå i dette og kommunen kan stille krav til kunnskap om karbonopptak og lagring i naturarealer som del av kunnskapen som skal innhentes i KU-arbeidet. Det er etter vår vurdering imidlertid behov for retningslinjer for hvilket kunnskapsgrunnlag som bør innhentes og hvilken metodikk som bør legges til grunn. Slik veiledning bør utformes med henvisning til veiledning om metoder og med konkretisering av når kommunen faktisk kan pålegge denne type kunnskapsinnhenting.

Det kan være en utfordring at plan- eller utredningsprogrammet skal konkretisere hvilke metoder som skal benyttes. Når det gjelder karbon i jord, er det behov for utprøving eller sammenstilling av ulike kunnskapskilder inkludert feltundersøkelser og målinger. Det kan være nok å vise til at utredninger og feltundersøkelser skal utføres av personer med relevant faglig kompetanse, men ettersom det ikke er standardiserte metoder for beregning av karbon i jord i alle jordtyper i alle regioner, og at det kreves en viss kunnskap om f.eks. dybde på jordlag mv, er dette fortsatt nybrottsarbeid (jf. kapittel 5 i denne rapporten om metodeanbefaling for innhenting av kunnskap om karbon i jord).

Kommunen skal i hht. pbl. § 2-1 sørge for at det foreligger et oppdatert kartgrunnlag for de formål som omtales i loven. Som del av dette bør slike kart omfatte oversikt over ulike typer natur og jordsmonn og nåværende bruk av arealene. Annen relevant informasjon om eventuelt farlige grunnforhold (kvikkleire, grøfter, deponier mm) er også tilgjengelig i offentlige kart. Ikke alle kart er like detaljerte, og dagens status for arealbruk bør også undersøkes gjennom feltarbeid,

befaring, og utsjekk av nasjonale databaser og nyere fjernmålingsdata (flyfoto eller satellittbilder), om dette er tilgjengelig.

I tilfeller som konsekvensutredningsplikten omfatter (KU-forskriften §§ 6-8), kan kommunen sette krav til forslagsstillere av reguleringsplaner om innhenting av mer detaljerte analyser av karbon i jord og eventuelle konsekvenser for utslipp og opptak etter arealbruksendringer med kunnskap om dette. Dersom det finnes god kunnskap om karbon i ulike typer arealer i tiltaksområdet, kan KU-programmet belyse hvilken konsekvens planen eller tiltaket vil få for denne naturens karboninnhold. Hvis ikke, bør KU-programmet kartlegge/innhente kunnskap som grunnlag for å gjøre vurderinger av konsekvenser av plan eller tiltak. Det vil være rimelig at omfanget av krav til slik kunnskapsinnhenting må vurderes ut fra størrelsen og omfanget av plan/tiltak, i hht. pbl. § 3-1 tredje ledd, som sier at planleggingen skal bygge på økonomiske og andre ressursmessig forutsetninger for gjennomføring og ikke være mer omfattende enn nødvendig. Slike vurderinger bør gjøres som en del av forarbeidet til KU-program, slik det omtales i Miljødirektoratets veileder, ref. KU-forskriftens kap. V om krav til innhenting av kunnskap.

Kunnskap om karbonrike arealer som bør innhentes, vil være avhengig av type inngrep og arealet det vil påvirke. Følgende momenter kan ligge til grunn når det gjelder kunnskap en kommune bør ha og hva som kan overlates til forslagstillere for reguleringsplaner eller annen utbygging:

- Påvirkning på mindre arealer med ensartet jordsmonn vil være enklere for forslagsstillere å utrede, mens større planforslag som berører ulike naturtyper med varierende forhold vil kreve lengre tid og kompleksitet i utredningen.
- Kartlegging av eksisterende karbonlagre vil være basisinformasjon som nullalternativ og kommunen bør ha noe kunnskap om dette i eksisterende kart og kunnskapsgrunnlag (naturtype, jordkart og areal), mens forslagsstillere bør kunne innhente vurderinger av miljøkonsekvenser av tiltak eller plan og evt. beregninger av det foreslåtte tiltakets effekt på karbonlagre gjennom utslipp eller endret evne til lagring. For eksempel kan drenering alene ha andre effekter enn nydyrking eller asfaltering.
- Utslipp eller opptak av karbon i jord vil i varierende grad påvirkes av den type arealinngrep som planlegges. Modellering av karbon i jord fordrer både gode jordkart, metoder og verktøy for å gi en tilstrekkelig vurdering av situasjonen. Dette vil i de fleste tilfeller trolig kreve en mer detaljert kunnskapsinnhenting enn man kan forvente at kommunen selv sitter med.
- Krav til forslagsstillere om å beskrive eventuelle tiltak som kan gjennomføres/er planlagt for å unngå, begrense, istandsette og hvis mulig kompensere vesentlige skadevirkninger karbon i jord.
- Beregninger av kommunens samlede karbonlagre og hvordan ulike tiltak kan påvirke utslipp fra og fremtidig opptak av karbon i ulike typer arealer/jordtyper er noe som kan inngå i kommunens og fylkeskommunens arbeid med klima- og energiplaner.

Kapittel 5 beskriver nærmere våre metodeanbefalinger for innhenting av kunnskap om karbon i jord og dette vil videre beskrive detaljeringsnivå for kunnskapsinnhenting.

7 Muligheter og forslag for en forbedring av kunnskapsgrunnlaget

Kunnskapsgrunnlaget for å vurdere effekten arealbruksendringer har på karbonlagrene i jord er i dag ikke tilstrekkelig for å kunne imøtekomme nasjonale forventninger, og oppfylle klimastrategier eller satsninger i kommunene. Dette prosjektet har sammenstilt eksisterende kunnskap om karbon i jord og foreslår hvordan de deltakende kommunene kan gå frem for å øke denne kunnskapen der den er mangelfull. Vi har oppdatert kunnskapsgrunnlaget om karbonlagrene og identifisere kunnskapsmangel og grad av usikkerhet rundt eksisterende estimater. Spesifikt har vi 1) laget en oversikt over det mest oppdaterte og tilgjengelige kartgrunnlaget om hovedøkosystemenes utbredelse, 2) oppdatert kunnskapsgrunnlaget om karbonlagrene i disse hovedøkosystemene gjennom en litteraturgjennomgang av studier med relevans for norske forhold, 3) identifisert viktige datamangler for å kunne oppfylle rapporteringskravene under utvikling for karbonregnskap ifølge naturregnskapsprinsipper, 4) vurdert om det finnes hjemmelsgrunnlag for å stille krav om undersøkelser eller utredninger av karbon i jord i bestemmelser, og vurdert hva som kan være egnet utforming av krav i bestemmelser.

7.1 Hjemmelsgrunnlag og planvirkemidler for et bedre kunnskapsgrunnlag

Vi har vurdert ulike hjemmelsgrunnlag som viser forskjellige scenarier for å stille krav om undersøkelser eller utredninger av karbon i jord i for eksempel i kommuneplan, reguleringsplan og konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven. Deretter er det vurdert hva som kan være egnet utforming av krav i bestemmelser, inkludert hvilket detaljnivå slike krav bør ha. I tillegg er det gjort vurderinger av hvor detaljert kunnskap en kommune bør ha og hva som kan overlates til forslagstillere for reguleringsplaner eller tiltakshavere for utbygging og andre tiltak.

Generelle utredningskrav i offentlige vedtak er omtalt, deretter hvordan det kan gis planbestemmelser om karbon i jord. Til sist har vi beskrevet hvordan kunnskap om karbon i jord kan inngå i behandlingen av søknader om tillatelser og eventuelle dispensasjoner. Vi har oppsummert ulike scenarier og muligheter for å stille krav til innhenting av kunnskap om karbonrike arealer med hjemler i pbl. og KU-regelverket:

- Det kan både settes krav til kunnskapsgrunnlaget for det enkelte vedtak og/eller det kan fastsettes krav til kunnskapsinnhenting som del av vedtaket.
- Det kan settes rettslig bindende bestemmelser i Kommuneplanens arealdel (KPA), eventuelt koblet til juridisk bindende kart eller tematisk kart som retningslinje.
- I utarbeidelse av forslag til reguleringsplan kan det fastsettes krav til undersøkelser knyttet til karbonlagring i jord før gjennomføring av planen og som del av gjennomføring av enkelttiltak i planen.
- Kunnskap om karbon i jord bør innhentes dersom tiltak eller planer kan ha negative konsekvenser for karbonrike arealer som del av kommunal energi- og klimaplan (følger av SPR for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning). Ved spørsmål om vesentlighet av tiltakets påvirkning på karbonlagring, vil det være viktig å fokusere på situasjonene hvor planer og tiltak har store utslipp objektivt sett, eller bidrar til større utslipp enn sammenlignbare prosjekter.
- Selv om det er hjemmelsgrunnlag for pålegg av krav, vil kravene måtte være forholdsmessige. De må være nødvendige og ikke innebære urimelige konsekvenser for de som berøres. Dette er både et praktisk og rettslig spørsmål.
- Gamle reguleringsplaner vil i prinsippet være gjeldende så lenge de ikke er uttrykkelig opphevet. Men hvis nyere plan (KPA eller ny reguleringsplan) har innhold som motstrider den gamle planen, og den nyere planen er taus om hvilken plan som har forrang, så er det nyeste plan som gjelder (pbl. § 1-5). Dette vil innebære at det nyere (KPA) kravet om karbonutredning vil gjelde for området, sammen med (resten av) den eldre

reguleringsplanen. Hvis tiltakshaver ønsker å unngå et krav, må kommunen evt. innvilge en søknad om dispensasjon.

- Ved søknad om *dispensasjon* fra vedtatt KPA eller reguleringsplan kan det stilles krav til dokumentert kunnskap om konsekvenser av tiltak/plan for karbonrike arealer som del av dispensasjonssøknad og med begrunnelse i krav som er satt i vedtatt KPA eller reguleringsplan.
- Som del av et eventuelt KU-program kan det lages krav om utredning av konsekvenser av tiltak/plan på karbonrike arealer.

7.2 Oppsummering, kunnskapshull og forbedring av datagrunnlaget

Det er nødvendig å ha gode kart over naturtypene som er representert i kommunene for å kartlegge de karbonrike arealene. Det er imidlertid stor variasjon i dekningsgraden av kart over de forskjellige naturtypene og det er stor variasjon mellom hovedtyper for hvor detaljerte kartdata som finnes tilgjengelig. Nøyaktigheten på heldekkende kartlag er heller ikke tilstrekkelig for å fange opp viktige naturtyper med små arealer og grønnstrukturer i bebygde områder. I tillegg er arealklassene ofte basert på arealenes bruk i stedet for arealenes økologiske egenskaper som gjør det utfordrende å knytte økologiske data og data for naturgoder, inkl. de som underbygges av karbon i jord, til arealtypene. Derfor trengs det et bedre kartgrunnlag for økosystemene. Arbeidet er i gang, og i løpet av 2023 kommer Miljødirektoratet til å gjøre tilgjengelig et første oppdatert kartet over hovedøkosystemene. I tillegg foregår det et betydelig utviklingsarbeid for å produsere arealdekkende kart med høyere oppløsning, men det tar lengre tid. For å få den beste oversikten over karbon i jord med dagens kartgrunnlag, er det mulig å kombinere flere kartkilder fra **Tabell 2** for de aktuelle kommunene. Dette vil kreve tilgang til eldre kart som for eksempel DMK i kombinasjon med nyere kartgrunnlag (SR16, grøftkart osv.) og en nøye vurdering av i hvilken grad kartgrunnlaget er oppdatert når det gjelder nyere arealendringer. Etter dette må data om karbonlagre kobles til hovedøkosystemene/ naturtypekart, helst med en oppløsning som kan brukes for planlegging på kommunalt nivå. Gode kart over naturtyper er en forutsetning for å kartlegge de karbonrike arealene i kommunene. Det beste ville være om det forelå nasjonale kart over naturtyper basert på best tilgjengelig kunnskap. Da vil kommunene kunne ta i bruk disse i kommunale kart som inngår i kommuneplanene, og alle kommuner vil legge det samme datagrunnlaget til grunn for dette arbeidet.

De mest verdifulle skogstypene for karbonlagrene under bakken og på økosystemnivå er eldre og gamle, naturskogslignende skoger, særlig av boreal løvskog. Skog av lavere produktivitet kan imidlertid ha store karbonlagre som har blitt akkumulert over lang tid. Gjenoppbygging av karbonlagre i jord etter menneskeskapt eller naturlige forstyrrelser går sakte i skoger av lavere produktivitet og forstyrrelse av disse bør derfor unngås. Karbonlageret i myr er betydelig større enn i skog som gjør myr til de mest karbonrike naturtypene på norsk jord med 5-10 ganger høyere karbonlager sammenlignet med skog på mineraljord. I litteraturgjennomgangen i denne rapporten som dekker myr i nordeuropeiske land er karbonlageret høyest i høymyr, etterfulgt av nedbørsmyr, jordvannsmyr og terrengdekkende myr. Karboninnholdet i torv varierer relativt lite, noe som gjør torvdybden den avgjørende faktoren mellom de ulike myrtypene. Høymyr er ofte de dypeste myrene (tykt torvlag), mens jordvannsmyr og terrengdekkende myr er relativt grunne. Litteraturen fra urbane økosystemer viste at gamle, tredominerte grønne områder generelt har et høyere karboninnhold i jord enn de gressdominerte. Jorddybde, jordtype og vannmetning er også avgjørende for karboninnholdet.

Denne rapporten har bare tatt for seg karbonlager i jord, ikke opptak og utslipp. Det er imidlertid store forskjeller mellom naturtyper når det gjelder lagringskapasitet, og kapasitet for opptak av karbon. For eksempel inneholder myr store karbonlagre, mens skog har en større kapasitet til å ta opp karbon. Myr har store karbonlagre som må beskyttes, og intakt myr har et lite netto opptak

av karbon. Myrarealene totalt sett kan ha et netto utslipp av karbon grunnet drenering og klimaendringer (Swindles et al. 2019), gitt at beregningsmodellene er godt nok tilpasset norske forhold. I motsetning til dette har skog og engpreget fastmark mindre karbonlagre enn myr, men en stor evne til å ta opp karbon fra atmosfæren. Litteraturen om karbonlagrene i åpne naturtyper og urbane områder er spesielt mangelfull, og det er få eller ingen studier som er gjort i Norge for disse naturtypene. Generelt er det få artikler skrevet om karbonlagring i jordsmonn i norske økosystemer. Det er derfor viktig at det samles data for norske forhold.

Tallene for jordkarbonlagre som kommer fra litteraturen er trolig tilstrekkelig for bruk i overordnet arealplanlegging, men hvis konsekvensutredningene skal inkludere karbonlagre, trengs det mer detaljerte undersøkelser. Dette gjelder også f.eks. verktøy som blå-grønn faktoren. Det er viktig å skape en ansvarsbevissthet for konsekvensene når arealer endres, og estimere karbonlageret som er sårbart før endringene settes i gang. Torvdybde er en fornuftig indikator for estimering av karbonlageret i myr. I skog og andre økosystemer uten torv trengs det beregninger av overjordisk biomasse, dybde og variasjon i den organiske horisonten i tillegg til estimerer av jordkarbon.

Det er også behov for nasjonale retningslinjer for hvilket kunnskapsgrunnlag som bør innhentes om karbon i jord og hvilken metodikk som skal anvendes, samt at det må utvikles et system for innrapportering og videre bruk. Dette bør utformes med henvisning til veiledning om metoder og med konkretisering av når kommunen faktisk kan pålegge denne type kunnskapsinnhenting. Videre bør det utvikles en felles metode for beregninger av kommunens samlede karbonlagre og hvordan ulike tiltak kan påvirke utslipp fra, og fremtidig opptak av, karbon i ulike typer arealer/jordtyper. Dette vil kunne inngå i kommunens og fylkeskommunens arbeid med klima- og energiplaner og samtidig vil en felles metode og system kunne gi sammenlignbare data som kan bidra til bedre helhetlige vurderinger av samlet belastning og måloppnåelse.

Generelt anbefales det å prioritere å unngå arealbruksendringer i de mest karbonrike økosystemene og økosystemer der gjenoppretting av karbonlagre etter forstyrrelser går langsomt, istedenfor kompensasjon gjennom forsøk på å øke karbonlagring andre steder. Kompensasjon er ofte vanskeligere, dyrere og langsommere enn bevaring av eksisterende karbonlagre, og ofte med usikkert resultat. Dette er i tråd med konseptet 'tiltakshierarki' (Ekstrom et al. 2015, Gelot & Bigard 2021), som er brukt i planlegging av arealbruk med mål om å unngå netto tap ('no net loss') av naturmangfold. Tiltakshierarki er et hierarki av retningslinjer som består av fire trinn for å motvirke økologisk tap, i prioriteringsrekkefølge: (1) unngå tap, (2) reduser tap, (3) gjenoppsett det som ble tapt, (4) kompenser for tapet.

I kapittel 5 om metodeanbefalinger har vi anbefalt at det brukes standardiserte protokoller og tjenester som tilbyr akkreditert analyse (sertifiserte laboratorier) for de nødvendige jordparametrene for å sikre god kvalitet på dataene. Det er mulig at kommunene kan jobbe for å lage veiledninger på hvordan utredningen skal gjøres.

Hvis undersøkelsene ligger som krav under plan- og bygningsloven, kan i prinsippet kommunene kreve at utbyggere står forkostnadene til de pålagte undersøkelsene. Det vil være ønskelig med et datainfrastruktursystem som gjør det mulig å legge ut innsamlede data slik at de blir offentlig tilgjengelig. Denne type system kan for eksempel utvikles under en nasjonal satsing på naturregnskap. Slike data ville ha en stor nytteverdi f.eks., for kalibrering og validering av arealdekende modeller.

8 Referanser

- Agropub. 2022. Kalkulator for karbonmengde i jorda. <https://www.agropub.no/fagartikler/kalkulator-for-karbonmengde-i-jorda>. Besøkt 07.11.2022.
- Alam, A., Strandman, H., Kellomäki, S. & Kilpeläinen, A. 2017. Estimating net climate impacts of timber production and utilization in fossil fuel intensive material and energy substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 47(8): 1010-1020.
- Bakkestuen, V., Silvennoinen, H.M., Aarrestad, P.A., Bredin, Y.K. & Lunde, L.M.F. 2023. Pilotprosjekt - Jordprøvetakning og jordanalyser i ANO-flater i 2022 NINA Rapport 2222. Norsk institutt for naturforskning.
- Bakkestuen, V., Venter, Z., Ganerød, A.J. & Framstad, E. 2023. Delineation of Wetland Areas in South Norway from Sentinel-2 Imagery and LiDAR Using TensorFlow, U-Net, and Google Earth Engine. *Remote Sensing* 15(5): 1203.
- Bárcena, T.G., Dalsgaard, L., Strand, L.T., Mohr, C.W., Bjørkelo, K., Eriksen, R. & Søgaard, G. 2021. A Tier 1 methodology for estimating changes in soil organic carbon after land use change on mineral soil. NIBIO Rapport 7/49/2021
- Barry, G.K., Engelsen, V., Klem, S., Kuhle, J., Sannes, H. & Værøy, T. 2022. Naturen i Bergen lagrer mer karbon enn det nasjonale gjennomsnittet. *Bikuben* 1.
- Bartlett, J., Rusch, G.M., Kyrkjeeide, M.O., Sandvik, H. & Nordén, J. 2020. Carbon storage in Norwegian ecosystems NINA Report 1774b. Norwegian Institute for Nature Research.
- Bergen kommune. 2018. Temakart sammenhengende blågrønne strukturer. <https://www.bergenskart.no/portal/apps/sites/#/bergenskart/apps/1ab60010d94c4f7b9c29f00caaf7c86e/explore>. Besøkt 04.05.2023.
- Bjørddal, I., Bjørkelo, K., Nilsen, A.-B., Nystuen, I., Strand, G.-H. & Thorvaldsen, K. 2004. Kodeverk og symbolbruk i DMK og avleide produkt. NIJOS dokument 36/2004
- Bjørddal, I. 2007. Markslagsklassifikasjon i Økonomisk Kartverk. 2007-utgåva 8231100091. Skog og landskap.
- Bodø kommune. 2022. Kommuneplanens arealdel 2022 - 2034. <https://bodo.kommune.no/arealplaner/kommuneplanens-arealdel/>. Besøkt 03.05.2023.
- Cantarello, E., Newton, A.C. & Hill, R.A. 2011. Potential effects of future land-use change on regional carbon stocks in the UK. *environmental science & policy* 14(1): 40-52.
- Chang, J., Ciais, P., Gasser, T., Smith, P., Herrero, M., Havlík, P., Obersteiner, M., Guenet, B., Goll, D.S. & Li, W. 2021. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nature Communications* 12(1): 118.
- Cimburova, Z. & Barton, D.N. 2020. The potential of geospatial analysis and Bayesian networks to enable i-Tree Eco assessment of existing tree inventories. *Urban Forestry & Urban Greening* 55: 126801.
- Cimburova, Z. & Barton, D.N. 2021. Testing GIS data-driven mapping and valuation of recreation areas in Oslo NINA Report 1931. Norwegian Institute for Nature Research.

- Clemmensen, K., Bahr, A., Ovaskainen, O., Dahlberg, A., Ekblad, A., Wallander, H., Stenlid, J., Finlay, R., Wardle, D. & Lindahl, B. 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science* 339(6127): 1615-1618.
- Couwenberg, J. 2011. Greenhouse gas emissions from managed peat soils: is the IPCC reporting guidance realistic? *Mires & Peat* 8.
- Creamer, R., Barel, J., Bongiorno, G. & Zwetsloot, M. 2022. The life of soils: Integrating the who and how of multifunctionality. *Soil Biology and Biochemistry* 166: 108561.
- Cretois, B., Frandem, M., Kyrkjeeide, M., O., Bartlett, J., & Kolstad, A., L., Silvennoinen, H. 2022. CarbonViewer: a Shiny application for calculating peatland volume and carbon stock to support area planners and decision makers (v.0.1.0-alpha). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7248087>
- Dobson, M.C., Crispo, M., Blevins, R.S., Warren, P.H. & Edmondson, J.L. 2021. An assessment of urban horticultural soil quality in the United Kingdom and its contribution to carbon storage. *Science of the Total Environment* 777: 146199.
- EcoForest. 2023. ECOFOREST Forestry effects on biodiversity, carbon stocks and ecological processes in mature boreal forests. <https://www.ecoforest.no/>. Besøkt 05.05.2023.
- Edens, B., Maes, J., Hein, L., Obst, C., Siikamaki, J., Schenau, S., Javorsek, M., Chow, J., Chan, J.Y. & Steurer, A. 2022. Establishing the SEEA Ecosystem Accounting as a global standard. *Ecosystem Services* 54: 101413.
- Edmondson, J.L., Stott, I., Potter, J., Lopez-Capel, E., Manning, D.A., Gaston, K.J. & Leake, J.R. 2015. Black carbon contribution to organic carbon stocks in urban soil. *Environmental science & technology* 49(14): 8339-8346.
- Ekstrom, J., Bennun, L. & Mitchell, R. 2015. A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy. Cross Sector Biodiversity Initiative, Cambridge
- Esser, J. & Nyborg, Å. 1992. Jordsmonn i barskog-en oversikt for Norge. NIJOS Rapp 3: 1-50.
- Eurostat. (under utarbeidelse). Guidance note for accounting for global climate regulating services in the EU. – FOURTH DRAFT. European Commission.
- Framstad, E., Stokland, J.N. & Hysten, G. 2011. Skogvern som klimatililtak. Verdifulle skogtyper for biologisk mangfold og karbonlagring. NINA rapport.
- Framstad, E., de Wit, H., Mäkipää, R., Larjavaara, M., Vesterdal, L. & Karlton, E. 2013. Biodiversity, carbon storage and dynamics of old northern forests *TemaNord* 2013:507. Nordic Council of Ministers.
- Framstad, E., Bjørkelo, K., Bakkestuen, V., Mathiesen, H.F., Nowell, M.S., Strand, G.-H. & Venter, Z. 2022. Kart over norske hovedøkosystemer—en mulighetsstudie 2055. Norsk institutt for naturforskning.
- French, H.K. 2016. Sammendragsrapport om hydrologien i Åsmyra. NMBU.
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J. & Philipson, C.D. 2013. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature communications* 4(1): 1340.
- Gelot, S. & Bigard, C. 2021. Challenges to developing mitigation hierarchy policy: findings from a nationwide database analysis in France. *Biological Conservation* 263: 109343.

- Geonorge. 2016. Arealressurskart - FKB-AR5 - Arealtyper.
<https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/arealressurskart-fkb-ar5-arealtyper/280bbd7a-5ce9-4c83-9e15-ac162cabd8a6>. Besøkt 06.05.2023.
- Gobin, A., Campling, P., Janssen, L., Desmet, N., Van Delden, H., Hurkens, J., Lavelle, P. & Berman, S. 2011. Soil organic matter management across the EU–best practices, constraints and trade-offs. Final report for the European Commission's DG Environment 34.
- Guo, L.B. & Gifford, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology* 8(4): 345-360.
- Hämäläinen, A., Strengbom, J. & Ranius, T. 2020. Low-productivity boreal forests have high conservation value for lichens. *Journal of Applied Ecology* 57(1): 43-54.
- Hanssen, F., Barton, D.N., Nowell, M. & Cimburova, Z. 2019. Mapping urban tree canopy cover using airborne laser scanning. Applications to urban ecosystem accounting for Oslo NINA Report 1677. Norwegian Institute for Nature Research.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & Troxler, T. 2014. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland
- Hofsten, J., Rekdal, Y. & Strand, G.-H. 2015. Arealregnskap for utmark. Arealstatistikk for Hordaland 02/2015. Skog og landskap.
- Hofsten, J., Rekdal, Y. & Strand, G.-H. 2017. Arealregnskap for utmark. Arealstatistikk for Sør-Trøndelag 3(105)2017. NIBIO.
- Hofsten, J., Rekdal, Y. & Strand, G.-H. 2019. Arealregnskap for utmark. Arealstatistikk for Rogaland 5(153)2019. NIBIO.
- James, K.L., Randall, N.P. & Haddaway, N.R. 2016. A methodology for systematic mapping in environmental sciences. *Environmental Evidence* 5(7).
- Jansson, U., Stabbetorp, O. & Bakkestuen, V. 2023. DeepDitch - Dyplæring for detektering av grøfter for prioritering av restaurering av våtmark i Norge – eksempel fra Oslo. Prosjekt med innvilget støtte.
- Joosten, H., Barthelmes, A., Couwenberg, J., Hassel, K., Moen, A., Tegetmeyer, C. & Lyngstad, A. 2015. Metoder for å beregne endring i klimagassutslipp ved restaurering av myr 2015-10. NTNU Vitenskapsmuseet.
- Joosten, H., Sirin, A., Couwenberg, J., Laine, J. & Smith, P. 2016. The role of peatlands in climate regulation. . I: Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. (red.) Peatland restoration and ecosystem services. Science, policy and practice. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- Kausrud, K.L., Vandvik, V., Flø, D., Geange, S.R., Hegland, S.J., Hermansen, J.S., Hole, L.R., Ims, R.A., Kausrud, H., Kirkendall, L.R., Nordén, J., Nybakken, L., Ohlson, M., Skarpaas, O., de Boer, H., Eldegard, K., Hindar, K., Järnegren, J., Måren, I.E., Nielsen, A., Nilsen, E.B., Rueness, E.K., Thorstad, E.B. & Velle, G. 2022. Impacts of climate change on the boreal forest ecosystem. Scientific Opinion of the Panel on Alien Organisms and Trade in Endangered species (CITES) of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment 2535-4019. VKM Report.
- Khalil, M.I. & Osborne, B.A. 2018. Improving estimates of soil organic carbon (SOC) stocks and their long-term temporal changes in agricultural soils in Ireland. *Geoderma* 322: 172-183.

- Klima- og miljødepartementet. 2018. Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/statlige-planretningslinjer-for-klima--og-energiplanlegging-og-klimatilpasning/id2612821/>.
- Klima og miljødepartementet. 2017. Veileder: Når skal tiltak i vedlegg II konsekvensutredes? Vurdering etter § 10 i forskrift om konsekvensutredninger https://www.regjeringen.no/contentassets/167047e811414896b04ec2504dd63995/veileder_kuforskriften_vesentlige_virkninger.pdf.
- Klima og miljødepartementet. 2021. Nasjonale og vesentlige regionale interesser på miljøområdet - klargjøring av miljøforvaltningens innsigelsespraksis. https://www.regjeringen.no/contentassets/6c0dd1b319454e8bb366b9ea37479a0a/t-2-16_revidert_februar_2021.pdf.
- Kommunal- og distriktsdepartementet. 2021. Veileder om konsekvensutredning for planer etter plan- og bygningsloven. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/veileder-om-konsekvensutredning-for-planer-etter-plan-og-bygningsloven/id2864622/>. Besøkt.
- Kommunal- og distriktsdepartementet. 2022. Grafisk framstilling av plansystemet. https://www.regjeringen.no/no/tema/plan-bygg-og-eiendom/plan_bygningsloven/planlegging/veiledning/grafisk-fremstilling-av-plansystemet/id2902659/#rp_kommunale_plansystemet. Besøkt 05.05.2023.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. 2019. Nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging 2019-2023. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nasjonale-forventninger-til-regional-og-kommunal-planlegging-20192023/id2645090/>.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. 2021. Kommuneplanens arealdel. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/kommuneplanens-arealdel/id2845096/?ch=6>.
- Kyrkjeeide, M.O., Bartlett, J., Rusch, G.M., Sandvik, H. & Nordén, J. 2020. Karbonlagring i norske økosystemer NINA Temahefte 76. Norsk institutt for naturforskning.
- Kyrkjeeide, M.O., Fandrem, M., Kolstad, A., L., , Bartlett, J., Cretois, B. & Silvennoinen, H. under revidering. A calculator for local peatland volume and carbon stock to support area planners and decision makers.
- Lehtonen, A., Linkosalo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R., Mäkipää, R., Tamminen, P., Salemaa, M., Nieminen, T., Ľupek, B. & Heikkinen, J. 2016. Forest soil carbon stock estimates in a nationwide inventory: evaluating performance of the ROMULv and Yasso07 models in Finland. *Geoscientific Model Development* 9(11): 4169-4183.
- Lindén, L., Riikonen, A., Setälä, H. & Yli-Pelkonen, V. 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening* 49: 126633.
- Liski, J., Ilvesniemi, H., Mäkelä, A.a. & Starr, M. 1998. Model analysis of the effects of soil age, fires and harvesting on the carbon storage of boreal forest soils. *European Journal of Soil Science* 49(3): 407-416.
- Liu, X., Trogisch, S., He, J.-S., Niklaus, P.A., Bruelheide, H., Tang, Z., Erfmeier, A., Scherer-Lorenzen, M., Pietsch, K.A. & Yang, B. 2018. Tree species richness increases ecosystem carbon storage in subtropical forests. *Proceedings of the Royal Society B* 285(1885): 20181240.
- Lovdata. 2009. Lov om forvaltning av naturens mangfold (naturmangfoldloven) LOV-2009-06-19-100. https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100#KAPITTEL_2.
- Lovdata. 2017. Forskrift om konsekvensutredninger (FOR-2017-06-21-854). <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-21-854>.

- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P. & Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455(7210): 213-215.
- Mäkkipää, R., Abramoff, R., Adamczyk, B., Baldy, V., Biryol, C., Bosela, M., Casals, P., Yuste, J.C., Dondini, M. & Filipek, S. 2023. How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests?—A review. *Forest Ecology and Management* 529: 120637.
- Malhotra, A., Todd-Brown, K., Nave, L.E., Batjes, N.H., Holmquist, J.R., Hoyt, A.M., Iversen, C.M., Jackson, R.B., Lajtha, K. & Lawrence, C. 2019. The landscape of soil carbon data: emerging questions, synergies and databases. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 43(5): 707-719.
- Mathiesen, H.F., Bjørkelo, K., Aune-Lundberg, L., Borch, H., Borchsenius, B., Dramstad, W., Frydenlund, J., Hanslin, H.M., Hobbak, K.T. & Mohr, C.W. 2022. Økt kunnskap om karbonlagring og klimatilpasning i byggesonen: Nye temakart for arealplanlegging i Oslo kommune. NIBIO Rapport.
- Mathiesen, H.F., Bjørkelo, K., Aune-Lundberg, L., Borch, H.O., Borchsenius, B., Dramstad, W., Frydenlund, J., Hanslin, H.M., Hobbak, K.T. & Mohr, C.W. 2022. Økt kunnskap om karbonlagring og klimatilpasning i byggesonen: Nye temakart for arealplanlegging i Oslo kommune. NIBIO Rapport.
- Mayer, M., Prescott, C.E., Abaker, W.E., Augusto, L., Cécillon, L., Ferreira, G.W., James, J., Jandl, R., Katzensteiner, K. & Laclau, J.-P. 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466: 118127.
- Miljødirektoratet. 2022. Beregne effekt av ulike klimatiltak. <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/beregne-effekt-av-ulike-klimatiltak/>. Besøkt 07.11.2022.
- Miljødirektoratet. 2023. Konsekvensutredninger for klima og miljø (Veileder | M-1941). <https://www.miljodirektoratet.no/konsekvensutredninger>. Besøkt 03.05.2023.
- Miljødirektoratet. 2023. Veileder: Hvordan ta hensyn til klimaendringer i plan? Planlegging av arealbruk. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/veiledning-til-statlige-planretningslinjer-for-klimatilpasning/planlegging-av-arealbruk/>. Besøkt 03.05.2023.
- Miljødirektoratet. 2023. Utslipp og opptak fra skog og arealbruk: For kommuner. <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-arealbruk-kommuner>. Besøkt 26.04.2023.
- Miljødirektoratet. 2023. Veileder: Karbonrike arealer i arealplanlegging. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/overvaking-arealplanlegging/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/klima/utslipp-fra-arealbruksendringer/>. Besøkt 26.04.2023.
- Miljøverndepartementet. 1983. Ot. prp. nr. 56 (1984-85) Plan- og bygningslov. https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Stortingsforhandlinger/Lesevisning/?p=1984-85&paid=4&wid=c&psid=DIVL135&s=True&pgid=c_0063.
- Moar, S.E. & Wilson, S.D. 2006. Root responses to nutrient patches in grassland and forest. *Plant Ecology* 184: 157-162.

- NIBIO. 2021. BalanC - Virkninger av økt granplanting på karbonbalansen i skog på Vestlandet. <https://www.nibio.no/prosjekter/balanc-virkninger-av-okt-granplanting-pa-karbonbalansen-i-skog-pa-vestlandet>. Besøkt 05.05.2023.
- NIBIO. 2023. Skogressurskart (SR16). <https://www.nibio.no/tema/skog/kart-over-skogressurser/skogressurskart-sr16>. Besøkt 03.05.2023.
- NIBIO. 2023. Overvåking av jordkarbon i skog og beitemark. <https://www.nibio.no/tema/jord/overvaking-av-jordkarbon-i-skog-og-beitemark>. Besøkt 02.05.2023.
- NINA. 2023. ForBioFunCtioN Jordlevende arters respons på klimaendringer, gjødsling og biokull i skog: økosystemets karbonbudsjett, jordtilstand og konsekvenser for forvaltning. <https://www.nina.no/forbiofunction>. Besøkt 05.05.2023.
- Norwegian Environment Agency, Norway, S. & Research, N.I.o.B. 2020. Greenhouse Gas Emissions 1990-2018, National Inventory Report. M-1643. The Norwegian Environment Agency.
- Nyjordet, S.M.G., Abaz, A.H., Gaarder, G., Fjelstad, H. & Svingen, K. 2022. Naturmangfold i Bergen kommune. Kartleggingsstatus for naturtyper og arter 2022-31. Miljøfaglig Utredning.
- Olsson, M.T., Erlandsson, M., Lundin, L., Nilsson, T., Nilsson, Å. & Stendahl, J. 2009. Organic carbon stocks in Swedish Podzol soils in relation to soil hydrology and other site characteristics. *Silva Fennica* 43(2): 209-222.
- Ontl, T.A. & Schulte, L.A. 2012. Soil carbon storage. *Nature Education Knowledge* 3(10).
- Oslo kommune. 2023. Karbon og klimatilpasning i byggesonen. <https://experience.arcgis.com/experience/e1c7d52281fe4bd98b069e84a8cd6604/>. Besøkt 26.04.2023.
- Plan- og bygningssetaten. 2020. Blågrønn faktor for boliger i Oslo - brukerveiledning for norm. Oslo kommune.
- Pregitzer, K.S. & Euskirchen, E.S. 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global change biology* 10(12): 2052-2077.
- Rusch, G.M., Bartlett, J., Kyrkjeeide, M.O., Lein, U., Nordén, J., Sandvik, H. & Stokland, H. 2022. A joint climate and nature cure: A transformative change perspective. *Ambio* 51(6): 1459-1473.
- Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R. & Kapos, V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5(1): 81-91.
- Setälä, H.M., Francini, G., Allen, J.A., Hui, N., Jumpponen, A. & Kotze, D.J. 2016. Vegetation type and age drive changes in soil properties, nitrogen, and carbon sequestration in urban parks under cold climate. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 93.
- SLU. 2023. Markinventeringen. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/markinventeringen/>. Besøkt 03.05.2023.
- Søgaard, G., Allen, M., Astrup, R., Belbo, H., Bergsens, E., Blom, H.H., Bright, R., Dalsgaard, L., Fernandez, C.A. & Gjerde, I. 2019. Effekter av planting av skog på nye arealer. Betydning for klima, miljø og næring 821702247X. NIBIO.
- Soy-Massoni, E., Barton, D.N., Rusch, G.M. & Gundersen, V. 2018. Bigger, more diverse and better? Mapping structural diversity and its recreational value in urban green spaces. *Ecosystem Services* 31: 502-516.

- Speed, J.D., Martinsen, V., Mysterud, A., Mulder, J., Holand, Ø. & Austrheim, G. 2014. Long-term increase in aboveground carbon stocks following exclusion of grazers and forest establishment in an alpine ecosystem. *Ecosystems* 17: 1138-1150.
- Stange, E., Zulian, G., Rusch, G., Barton, D. & Nowell, M. 2017. Ecosystem services mapping for municipal policy: ESTIMAP and zoning for urban beekeeping. *One Ecosystem* 2: e14014.
- Stange, E.E., Venter, Z.S., Dillinger, B. & Sydenham, M.A.K. 2019. Kartlegging av grønnstrukturer for Nye Stavanger Kommune NINA Rapport 1706. Norsk institutt for naturforskning.
- Statens vegvesen. 2023. Bruk av VegLCA. Statens vegvesen.
<https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/klima-miljo-og-omgivelser/utslipp-av-klimagasser/bruk-av-veglca/>. Besøkt 2023.
- Stavanger kommune. 2022. Kommuneplanens arealdel 2023-2040. Grønn plan: Temaplan for grønnstruktur, naturmangfold og friluftsliv. Stavanger kommune.
- Steinaker, D.F. & Wilson, S.D. 2008. Scale and density dependent relationships among roots, mycorrhizal fungi and collembola in grassland and forest. *Oikos* 117(5): 703-710.
- Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å. & Langvall, O. 2010. Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests—differences in stock levels and regional patterns. *Silva Fennica* 44(1): 5-21.
- Strand, L.T., Callesen, I., Dalsgaard, L. & de Wit, H.A. 2016. Carbon and nitrogen stocks in Norwegian forest soils—the importance of soil formation, climate, and vegetation type for organic matter accumulation. *Canadian Journal of Forest Research* 46(12): 1459-1473.
- Suárez, M., Barton, D.N., Cimburova, Z., Rusch, G.M., Gómez-Baggethun, E. & Onaindia, M. 2020. Environmental justice and outdoor recreation opportunities: A spatially explicit assessment in Oslo metropolitan area, Norway. *Environmental Science & Policy* 108: 133-143.
- Svendgård-Stokke, S., Ulfeng, H., Dalsgaard, L., Eisner, S., Lågbu, R., Klakegg, O.M., Solbakken, E., Sjøgaard, G. & Strand, G.-H. 2019. Utvikling av kart over organisk karbon i jord Norge. Forprosjekt. NIBIO Rapport 5/59/2019
- Swindles, G.T., Morris, P.J., Mullan, D.J., Payne, R.J., Roland, T.P., Amesbury, M.J., Lamentowicz, M., Turner, T.E., Gallego-Sala, A. & Sim, T. 2019. Widespread drying of European peatlands in recent centuries. *Nature Geoscience* 12(11): 922-928.
- Trondheim kommune. 2023. Naturtyper kartlagt i Trondheim.
<https://www.trondheim.kommune.no/naturtyper-kartlagt-i-trondheim/>. Besøkt 05.05.2023.
- United Nations. 2021. Guidelines on biophysical modelling for ecosystem accounting. Version 2.0. Draft for global consultation. United Nations System of Environmental Economic Accounting.
- United Nations. 2021. System of Environmental-Economic Accounting-Ecosystem Accounting (SEEA EA). White cover publication, pre-edited text subject to official editing.
- United Nations. 2022. Kunming-Montreal Global biodiversity framework. CBD/COP/15/L.25. United Nations Environmental Program, Conference of Parties, Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
- Venter, Z.S., Krog, N.H. & Barton, D.N. 2020. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. *Science of the Total Environment* 709: 136193.

Venter, Z.S., Roos, R.E., Nowell, M.S., Rusch, G.M., Kvifte, G.M. & Sydenham, M.A. 2023. Comparing global Sentinel-2 land cover maps for regional species distribution modeling. *Remote Sensing* 15(7): 1749.

Yu, Z. 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* 9(10): 4071-4085.

Norsk institutt for naturforskning, NINA, er en uavhengig stiftelse som forsker på natur og samspillet natur–samfunn.

NINA ble etablert i 1988. Hovedkontoret er i Trondheim, med avdelingskontorer i Tromsø, Lillehammer, Bergen og Oslo. I tillegg driver NINA Sæterfjellet avlsstasjon for fjellrev på Oppdal, og forskningsstasjonen for vill laksefisk på lms i Rogaland.

NINAs virksomhet omfatter både forskning og utredning, miljøovervåking, rådgivning og evaluering. NINA har stor bredde i kompetanse og erfaring med både naturvitere og samfunnsvitere i staben. Vi har kunnskap om artene, naturtypene, samfunnets bruk av naturen og sammenhenger med de store drivkreftene i naturen.

ISSN:1504-3312
ISBN: 978-82-426-5094-8

Norsk institutt for naturforskning

NINA Hovedkontor

Postadresse: Postboks 5685 Torgarden, 7485 Trondheim

Besøks-/leveringsadresse: Høgskoleringen 9, 7034 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00, Telefaks: 73 80 14 01

E-post: firmapost@nina.no

Organisasjonsnummer 9500 37 687

<http://www.nina.no>



Samarbeid og kunnskap for framtidens miljøløsninger