

Bioforsk Rapport

Bioforsk Report

Vol. 5 Nr. 162 2010

CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge

Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser

Arne Grønlund

Bioforsk Jord og miljø

Knut Bjørkelo, Gro Hysten og Stein Tomter
Norsk institutt for skog og landskap

www.bioforsk.no



Tittel/Title:

CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser.

Forfatter(e)/Author(s):

Grønlund, A. K. Bjørkelo, G. Hysten og S. Tomter

<i>Dato/Date:</i> 21.12.2010	<i>Tilgjengelighet/Availability:</i> Åpen	<i>Prosjekt nr./Project No.:</i> 2110794	<i>Saksnr./Archive No.:</i>
<i>Rapport nr./Report No.:</i> 162/2010	<i>ISBN-nr./ISBN-no:</i> 978-82-17-00717-3	<i>Antall sider/Number of pages:</i> 37	<i>Antall vedlegg/Number of appendices:</i>

<i>Oppdragsgiver/Employer:</i> Direktoratet for naturforvaltning	<i>Kontaktperson/Contact person:</i> Else Løbersli
---	---

<i>Stikkord/Keywords:</i> Karbonbinding, klimagasser Carbon stocks, greenhouse gasses	<i>Fagområde/Field of work:</i> Jordkvalitet Soil quality
---	---

Sammendrag:

Rapporten gir en kunnskapsstatus om ulike norske naturtypers opptak og lagring av CO₂ og deres sårbarhet for menneskelig aktivitet. Det totale karbonlageret i jordbruksareal, skog, myr og åpen fastmark er estimert til ca 4 milliarder tonn C, hvorav ca 11 % i vegetasjon og ca 89 % i jord. Skog har det største karbonlageret med ca 2 milliarder tonn C. Myr og åpen fastmark antas å inneholde ca 1 milliard tonn C hver og jordbruksreal ca 200 millioner tonn C.

Netto karbonbinding kan bare påvises i skog. Myr og åpen fastmark er trolig i tilnærmet karbonbalanse, mens det sannsynligvis tapes karbon fra jordbruksareal. Karbon i myr antas å være mest sårbar for menneskelige inngrep.

Godkjent

Prosjektleder

.....
Roald Sørheim

.....
Arne Grønlund

Forord

Karbonlagring og klimagassutslipp fra jord og biomasse har blitt gjenstand for økt interesse i sammenheng med globale klimaendringer. Miljøverndepartementet har tatt initiativ til å beskrive status for kunnskapen om ulike norske naturtypers opptak og lagring av CO₂, og deres innbyrdes betydning og sårbarhet for menneskelig aktivitet. Direktoratet for naturforvaltning (DN) har engasjert Bioforsk for å lage en rapport om dette temaet i samarbeid med Institutt for skog og landskap. Kontaktperson ved DN har vært Else Løbersli.

Rapporten har vært kommentert av en referansegruppe bestående av:

Elsel Løbersli, DN
Akse Østebrøt, DN
Bård Øyvind Solberg, DN
Odd Kristian Selboe, DN
Anne Britt Storeng, DN
Linda Dalen, DN
Reidar Tveiten, Statens Landbruksforvaltning
Hege Haugland, Klima- og forurensningsdirektoratet
Ann Norderhaug, Bioforsk Midt-Norge

Prosjektleder ved Bioforsk har vært Arne Grønlund, med Lillian Øygarden som kvalitetssikrer. Prosjektmedarbeidere ved Norsk institutt for skog og landskap har vært Knut Bjørkelo, Stein Tomter og Gro Hysten. Ann Norderhaug ved Bioforsk Midt-Norge og Anders Bryn ved Norsk institutt for skog og landskap har dessuten gitt viktige bidrag om semi-naturlig mark.

Ås, 21. desember 2010

Arne Grønlund

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag	5
1. Innledning	9
1.1 Karbonpooler og karbonkretsløp i det terrestriske miljø.....	9
1.2 Karbonbalansen i jord	9
1.3 Karboninnhold i ulike naturtyper på globalt nivå.....	9
1.4 Prosjektets formål	10
2. Utbredelse av ulike naturtyper i Norge	11
3. Jordbruksareal.....	14
3.1 Arealer og karbonlager	14
3.2 Klimagassflukser	14
4. Skog.....	17
4.1 Metodikk	17
4.2 Karbonlager.....	17
4.3 Endringer i karbonlageret i skog.....	20
4.4 Sårbarhet	21
5. Myr.....	23
5.1 Arealer	23
5.2 Metodikk for beregning av karbonlager	25
5.3 Estimert karbonmengde	26
5.4 Klimagassflukser	27
5.5 Sårbarhet	27
6. Åpen fastmark	29
7. Semi-naturlig mark	31
8. Kunnskapsbehov	33
8.1 Jordbruksareal	33
8.2 Skog.....	33
8.3 Myr	33
8.4 Åpen fastmark.....	33
8.5 Semi-naturlig mark.....	33
9. Konklusjon.....	36
10. Referanser	37

Sammendrag

Innledning

Jord og biomasse inneholder til sammen 3-4 ganger så mye karbon som atmosfæren og spiller en viktig rolle i karbonets krets løp og som regulator for klimagasser i atmosfæren. Karbon i jord og biomasse kan tapes til atmosfæren som CO₂ og CH₄. Dyrking og avskoging har bidratt til ca 1/3 av de totale CO₂-tapene de siste 150 årene. Det er mulig å øke karboninnholdet i jord og biomasse gjennom endret dyrkingspraksis og skogskjøtsel. I Europa tapes det for tiden karbon fra åkerdyrking, mens det bindes omtrent like mye karbon i skog.

Karboninnholdet i jord er et resultat av balansen mellom tilførsel av organisk materiale og tap gjennom nedbryting til CO₂, erosjon og utvasking av organiske forbindelser. Nedbrytingen av organisk materiale øker med karboninnholdet. Karbonrik jord krever derfor større tilførsel for å opprettholde karboninnholdet enn karbonfattig jord, og er følgelig mer sårbar mot tap av karbon.

Boreal skog og myr er de naturtypene i verden som har størst karboninnhold per arealenhet. På grunn av stort areal av boreal skog og myr har norske naturtyper generelt høy karbontetthet, men i områder over skoggrensa det finnes betydelige arealer med lite vegetasjon og lavt karboninnhold i jorda.

Formålet med denne rapporten er å gi en kunnskapsstatus om lagring og utslipp av CO₂ og andre klimagasser i ulike norske naturtyper, deres innbyrdes betydning for karbonlagring og sårbarhet for menneskelig aktivitet.

Utbredelse av ulike naturtyper i Norge

Dette studiet omfatter følgende hovednaturtyper:

- Jordbruksareal (3 % av arealet)
- Skog (38 % av arealet)
- Myr og våtmark (6 % av arealet)
- Åpen fastmark (45 % av arealet)

Den øvrige delen av arealet, som utgjør ca 8 %, består av bebyggt areal, ferskvann og breer.

Semi-naturlig mark som er preget av lang tids beite og slått er ikke skilt ut som egen type i denne inndelingen. Betydelige arealer av skog, myr åpen fastmark brukes eller har vært brukt til beite.

Jordbruksareal

Karbonmengden i biomasse på jordbruksareal varierer mellom årstider og vekstgrupper, og kan på årsbasis anslås til ca 150 kg C dekar⁻¹ i åkerjord og ca 500 kg C dekar⁻¹ i grasmark, totalt 4,2 millioner tonn C. Karboninnholdet i jord på jordbruksareal er beregnet til ca 200 millioner tonn C i den øverste meteren. Innholdet per dekar er høyest i dyrket myr og lavest i bakkeplanert mineraljord.

Årlig karbonbinding gjennom fotosyntesen er beregnet til 2,8 millioner tonn C på jordbruksareal i Norge. Av dette tilføres om lag 1,8 millioner tonn C til jorda i form av planterester, husdyrgjødsel, avløpslam og organisk avfall. Langvarig gras har evne til å binde karbon i jord på grunn av stor rotmengde, lang vekstperiode, liten erosjon og langsom mineralisering av organisk materiale. Det er likevel usikkert om det skjer noen netto karbonbinding i grasmark i Norge i dag. Åkerdyrking og jordarbeiding fører generelt til tap av karbon fra jorda. For jord med ensidig åkerdyrking kan det årlige tapet være ca 50 kg C dekar⁻¹ og 125 000 tonn C totalt.

Dyrking av myr fører til store tap av CO₂ og N₂O til atmosfæren. Det årlige karbontapet fra dyrket myr antas å være mellom 0,5 og 0,8 tonn C dekar⁻¹ og ca 375 000 tonn C totalt. Tap av nitrogen i lystgass kan ifølge IPCC's faktor beregnes som 1,25 % av tilført nitrogen i gjødsel og dessuten 0,8 kg N (1,25 kg N₂O) dekar⁻¹ år⁻¹ fra dyrket myr, til sammen 6900 tonn N₂O år⁻¹, men disse estimatene er beheftet med stor usikkerhet. Jordbruket bidrar også til utslipp av ca 105 000 tonn metan fra husdyrdrift, hvorav 85 % fra fordøyelse hos drøvtyggere og 15 % fra gjødsellager. Utslipet fra

drøvtyggere er en konsekvens av grasproduksjon. En middels grasavling på 630 kg høy vil gi et CH₄-utslipp på ca 20 kg som tilsvarer ca 430 CO₂-ekvivalenter.

Skog

Karbonmengden biomasse i skog er beregnet til ca 450 millioner tonn C totalt, hvorav 322 millioner tonn i levende trær, 89 millioner tonn i røtter og 41 millioner tonn i døde trestammer og strø. Om lag 95 % av karbonmengden finnes innenfor det arealet som dekkes av Landsskogtakseringen (ca 100 000 km²) og 5 % i fjellskog og skog i Finnmark (ca 25 000 km²). Karbonmengden i skogsjord er estimert til 13,2 tonn C dekar⁻¹ for produktiv skog, 12,5 tonn C dekar⁻¹ for uproduktiv skog og 24 tonn C dekar⁻¹ for skog på organisk jord, totalt 1,33 milliarder tonn C innenfor Landsskogtakseringens dekningsområde. Inkludert fjellskog og skog i Finnmark antas skogsjord i Norge å inneholde mellom 1,4 og 1,7 milliarder tonn C. Den totale karbonmengden i biomasse og jord i skog kan dermed anslås til i størrelsesorden 2 milliarder tonn C.

På grunn av større tilvekst enn avvirkning er det en netto karbonbinding i biomasse i skog. I perioden 1990 til 2008 økte karbonmengden i levende biomasse fra 306 til 388 millioner tonn C, mens den årlige endringen økte fra 2,5 til 7,8 millioner tonn C. Modellberegninger har vist at karbonmengden i død biomasse og skogsjord øker med til sammen 1-1,8 millioner tonn C år⁻¹. Karbonbindingen i skog er på et historisk høyt nivå på grunn av moderat avvirkning og omfattende skogplanting mellom 1950 og 1970. Gjengroing av tidligere beite- og slåttemark og flytting av skoggrensa mot fjellet kan bidra til fortsatt økt karbonbinding, men klimaeffekten kan bli motvirket av lavere albedo av skog enn av åpen mark.

Karbonlageret og karbonbindingen i skog kan reduseres som følge av hogst og arealbruksendringer. Den totale karbonlagringseffekten av hogst er avhengig av bl. a. skogens alder, tilvekst og bruken av tømmeret. Når tømmer brukes til byggematerialer, kan en del av karbonet lagres i lang tid. Karbontapet kan bli kompensert av tilvekst av ny skog, spesielt når tilveksten er raskere enn i den gamle skogen før hogst. Bruk av tømmer utelukkende til brensel fører til umiddelbare utslipp av CO₂, og det kan ta 70-120 år før tilsvarende karbonlager er bygd opp. De totale utslippene kan reduseres dersom brenselet erstatter fossilt karbon.

Flatehogst kan føre til en midlertidig nedgang i karboninnholdet i skogsjord på grunn av høyere temperatur i jordoverflata og raskere nedbryting i humuslaget. Innholdet vil øke igjen etter hvert som skogen vokser. Tap av karbon fra skogsjord kan også skje i form av erosjon forårsaket av terreng-gående hogstmaskiner.

Arealbruksendringer fra skog til jordbruk eller utbygging vil både redusere karbonlageret og framtidig karbonbinding i skog. Dersom matproduksjonen skal øke tilsvarende den forventede befolkningsøkningen, kan det bli behov for å nydyrke skog i størrelsesorden 1 million dekar, som vil redusere skogens karbonkapital med om lag 4 millioner tonn C og den årlige karbonbindingen med ca 0,2 millioner tonn C. Bruk av skog til byggegrunn antas å utgjøre et betydelig mindre areal enn det som er aktuelt å dyrke.

Myr

Arealet av myr i Norge er oppgitt til mellom 18 800 og 21 700 km². I overkant av 15 000 km² myr og torvmark er kartlagt i økonomisk kartverk, hvorav ca halvparten er vurdert egnet til dyrking eller skogproduksjon og er klassifisert etter torvdybde og omdanningsgrad.

Karbonlageret i myr kan beregnes på grunnlag av torvdybde, volumvekt og prosent karbon i torva. Gjennomsnittlig torvdybde er antatt å være 0,65 meter for grunn myr, 2 meter for djup myr og 1 meter for myr som ikke er egnet for dyrking eller skogproduksjon. Volumvekten er antatt å være 0,068 kg/liter, 0,085 kg/liter og 0,15 kg/liter for henholdsvis lite, middels og sterkt omdannet torv. C-innholdet i torv er antatt å være 48,5 % i gjennomsnitt. Den total karbonmengden i myr og torvmark kartlagt i økonomisk kartverk, inkludert bunn- og feltsjiktvegetasjonen, er på dette grunnlaget estimert til ca 830 millioner tonn C. Myrareal utenfor dekningen av økonomisk kartverk antas i gjennomsnitt å ha samme karbonkonsentrasjon som grunn myr, 32 kg C dekar⁻¹, og totalt mellom 115 og 205 millioner tonn C. Det totale karboninnholdet i myr og torvmark kan estimeres til ca 1 milliard tonn C. Karbonmengden i torvmark, som er skogdekt og inngår i karbonregnskapet for skogsjord, er estimert til 58 millioner tonn C. Karbonmengden i åpen myr kan derfor justeres til ca 950 millioner tonn C.

Det er usikkert om det skjer noen netto karbonbinding i myr i Norge i dag. Gjennomsnittlig karbonbinding for nordiske land er estimert til 55 ± 190 g CO₂ m⁻² for minerotrof myr og -55 ± 230 g CO₂ m⁻² for ombrotrof myr, hvilke innebærer at ombrotrof myr er en netto CO₂-kilde. Årlig metanemisjon er beregnet til $6,7 \pm 5,3$ og $17,3 \pm 13,3$ g CH₄ m⁻² fra henholdsvis ombrotrof og minerotrof myr. N₂O-utslippene fra naturlig myr er generelt lavt og er estimert til $<0,001$ og $0,018 \pm 0,019$ g m⁻² for henholdsvis ombrotrof og minerotrof myr. Gjennomsnittlig årlig netto klimagassutslipp kan grovt estimeres til 196 og 314 g CO₂-ekvivalenter m⁻² for henholdsvis ombrotrof og minerotrof myr.

Karbonlageret i myr er betinget av høyt vanninnhold og er derfor sårbar mot alle inngrep som innebærer senking av grunnvannsnivået. Sårbarheten til myr kan antas å gjenspeile sannsynligheten for inngrep som er betinget av egnethet for bruk av myr til ulike formål. På dette grunnlaget kan myr grupperes i 4 sårbarhetsklasser, fra lite til sterkt sårbar:

- Kl. 1. Myr ikke egnet for dyrking, skogreising eller torvuttak, som utgjør et areal på 11 000 - 14 000 km², med et anslått karbonlager på 400 - 500 millioner tonn C, antas å være minst sårbar.
- Kl. 2. Myr egnet for skogproduksjon, som utgjør ca 2800 km² med en estimert karbonmengde på 190 millioner tonn C.
- Kl. 3. Myr egnet til dyrking, som utgjør et areal på ca 4800 km² med en estimert torvmengde på ca 330 millioner tonn C.
- Kl. 4. Myr egnet til uttak av torv, som utgjør et areal på nærmere 600 km² med et estimert karbonlager på ca 40 millioner tonn C, antas å være mest sårbar på grunn av rask nedbryting av torva etter uttaket.

Åpen fastmark

Åpen fastmark utgjør ca 43 % av landarealet og omfatter alle ubebygde arealer som ikke er jordbruksareal, skog eller myr. Mesteparten av åpen fastmark består av fjell og vidde over skoggrensa, hvor primærproduksjonen er lav og karboninnholdet i biomasse antas å være opp ca 750 kg C dekar⁻¹. Karboninnholdet i jord er anslått skjønnsmessig for de ulike vegetasjonsklassene som er brukt i AR50:

- Frisk vegetasjon: 7-17 tonn C dekar⁻¹ og 270-650 tonn C totalt
- Sammenhengende, middels frisk vegetasjon: 5-12 tonn C dekar⁻¹ og 190-450 tonn C totalt
- Lavdekt mark: 4-10 tonn C dekar⁻¹ og 15-38 tonn C totalt
- Flekkvis skrinnet vegetasjon: 2-8 tonn C dekar⁻¹ og 70-280 tonn C totalt
- Åpen uspesifisert fastmark: 2-12 tonn C dekar⁻¹ og 10-60 tonn C totalt
- Ikke vegetasjon: 0-2 tonn C dekar⁻¹ og 0-45 tonn C totalt

Den totale karbonmengden i åpen fastmark er anslått til mellom 500 og 1500 millioner tonn C, med en antatt middelværdi på ca 1 milliard tonn.

Karbonlageret i åpen fastmark antas å være lite sårbar på grunn av lav temperatur og langsom nedbryting av organisk materiale, men kan reduseres i områder med erosjon forårsaket av slitasje på vegetasjonen.

Semi-naturlig mark

Semi-naturlig mark er påvirket av menneskelig aktivitet (hogst, rydding, brenning, slått, beiting og lauving) og kan deles inn i slåttemark og beitemark, som er blant de mest artsrike og verneverdige naturtypene i Norge. Ved opphør av slått eller beite vil semi-naturlig mark nærme seg den naturlige vegetasjonen. Gjengroing til skog kan føre til redusert karbonbinding i jord sammenlignet med slåttemark og beitemark, men reduksjonen er trolig langt mindre enn den økte karbonbindingen i biomasse, som kan være ca 200 kg C dekar⁻¹ i gjennomsnitt. Klimaeffekten av den økte karbonbindingen kan bli delvis oppveid av redusert albedo fra skog.

Kunnskapsbehov

Kunnskapsbehovet om karbonlagring og klimagasser fra terrestriske naturtyper er særlig knyttet til:

- Jordbruksareal: Karbonlagring i ulike typer grasmark i forhold til åkerjord, lystgass fra jord, CO₂-tap fra myr og lagringseffekten av biokull og ulike typer biomasse
- Skog: Karbonlagring gammel skog og i skogsjord, klimaeffekter av redusert albedo
- Myr: Langtidsovervåking av gassflukser fra kystmyrer
- Åpen fastmark: Karboninnhold i jord i ulike vegetasjonstyper, estimerer for gassflukser på karbonrike vegetasjonstyper
- Semi-naturlig mark: Arealberegninger, karbonmengde i jord, endringer i jordas karboninnhold etter opphør av bruk og gjengroing til skog

Konklusjon

Den totale karbonmengden i terrestriske naturtyper i Norge er estimert til i overkant av 4 milliarder tonn C, hvorav ca 11 % i vegetasjon og 89 % i jord. Skog er den naturtypen som har størst karbonlager, både i biomasse og jord, totalt ca 2 milliarder tonn C. Åpen fastmark og myr antas å inneholde omtrent like stor mengde, 1 milliard tonn C hver, mens jordbruksareal inneholder ca 200 millioner tonn C.

Myr inneholder størst karbonmengde per arealenhet, ca 3 ganger så mye som skog og jordbruksareal. Karbonlageret i myr er svært sårbar for menneskelige inngrep som innebærer senking av grunnvannstanden.

Skog er også den naturtypen som har størst økning i karboninnholdet. Det er usikkert om det skjer noen økning i karboninnholdet i naturlig myr. Dyrket jord antas å ha et netto tap av karbon fra ensidig åkerdyrking og dyrket myr. En eventuell karbonbinding i grasmark på mineraljord antas ikke å være stor nok til å kompensere for dette tapet. Det antas å være små endringer i karboninnhold i åpen fastmark på grunn av lav temperatur.

1. Innledning

1.1 Karbonpooler og karbonkretsløp i det terrestriske miljø

Jord og biomasse inneholder til sammen 3-4 ganger så mye karbon som atmosfæren og spiller en viktig rolle i karbonets kretsløp og som regulator for CO₂-innholdet i atmosfæren. Karboninnholdet i atmosfæren er ca 780 Gt karbon (1 Gt= 1 milliard tonn), mens det totale innholdet i biomasse og jord er anslått til henholdsvis ca 500 Gt og 2000 Gt karbon. Estimater for jord er usikkert og varierer fra 1500 til 3000 Gt, hvor de høyeste estimatene også omfatter karbonat i jord og karbon i dypere lag av myr og jord med permafrost.

Det bindes årlig ca 60 Gt karbon som CO₂ gjennom fotosyntesen på land og omtrent like mye slippes ut som følge av nedbryting av organisk materiale i jord og biomasse. Det aller meste av karbonutslippet skjer i form av CO₂, men en liten del slippes ut som metan som dannes under anaerobe forhold. Metan er en langt sterkere klimagass enn CO₂, men har relativt kort levetid i atmosfæren (ca 12 år i gjennomsnitt). Mengden av karbon som lagres i jord og biomasse og mengdeforholdet mellom CO₂ og metan som slippes ut antas å ha stor betydning for drivhuseffekten, og kan påvirkes av menneskelige inngrep og klimaendringer.

Avskoging, dyrking og drenering av våtmarker kan føre til store tap av karbon og utslipp av CO₂ til atmosfæren. Det totale tapet fra jord og vegetasjon som følge av arealbruksendringer er estimert til 136 (± 55) Gt C i perioden 1850-1998 (IPCC 2000). Av dette er omtrent halvparten (78 ± 12 Gt C) tap fra jord som følge av mineralisering og erosjon fra åkerdyrking (Lal 2004). Utslippene fra forbrenning av fossilt karbon og produksjon av sement utgjør til sammenligning ca 270 (± 30) Gt C i samme tidsrom (IPCC 2000).

Det terrestriske miljøet har muligheter til å øke karbonlageret gjennom skogreising og karbonlagring i jord. Det totale potensialet for økt karbonlagring i jord er antatt å være 55-78 Gt karbon, som er omtrent like stort som det historiske tapet (Lal 2004). Men med dagens dyrkingsteknikk skjer det fortsatt et netto tap av karbon fra jord. Det er gjort beregninger som tyder på at europeisk åkerjord årlig taper ca 0,3 Gt C (Smith, 2004), mens europeiske skoger binder nærmere 0,4 Gt C (Janssens et al., 2005).

1.2 Karbonbalansen i jord

Karboninnholdet i jord er et resultat av balansen mellom tilførsel og tap av organisk materiale. Tilførselen skjer i form av planterester og organisk gjødsel og jordforbedringsmidler. Tap av karbon skjer først og fremst ved nedbryting og mineralisering av biomasse til CO₂, men også ved erosjon og utvasking av organiske forbindelser. Når det er likevekt mellom tilførsel og nedbryting av organisk materiale, er karboninnholdet stabilt over tid. Dersom tilførselen eller nedbrytingen endres, vil også karboninnholdet endres, inntil det er innstilt ny likevekt. Nedbrytingshastigheten av organisk materiale i mineraljord er tilnærmet proporsjonal med karboninnholdet. Karbonrik jord krever derfor større tilførsel for å opprettholde karboninnholdet enn jord med lavere innhold, og er mer sårbar mot tap av karbon.

1.3 Karboninnhold i ulike naturtyper på globalt nivå

Karboninnhold i vegetasjon og jord i ulike naturtyper i verden er vist i tabell 1. Boreal skog og myr er de naturtypene som har også høyest karbontetthet uttrykt i tonn karbon per dekar. De utgjør til sammen ca 11 % av landarealet og inneholder nesten 1/3 av alt karbon i vegetasjon og jord.

På grunn av stort areal med boreal skog og myr har norske naturtyper generelt stor karbontetthet. Men variasjonen er stor. Over skoggrensa fins det store arealer med svært lite vegetasjon og karbon i jorda.

Tabell 1. Globale karbonlager i vegetasjon og jord ned til en meter dybde (IPCC 2000).

	Areal Mill. km ²	Gt C			Tonn C/dekar		
		Vege- tasjon	Jord	Totalt	Vege- tasjon	Jord	Totalt
Tropisk skog	17,6	212	216	428	12,0	12,3	24,3
Temperert skog	10,4	59	100	159	5,7	9,6	15,3
Boreal skog	13,7	88	471	559	6,4	34,4	40,8
Tropiske savanner og grasmark	22,5	66	264	330	2,9	11,7	14,7
Temp. savanner og grasmark	12,5	9	296	305	0,7	23,7	24,4
Ørken og halvørken	45,5	8	191	199	0,2	4,2	4,4
Tundra	9,5	6	121	127	0,6	12,7	13,4
Våtmark (myr)	3,5	15	225	240	4,3	64,3	68,6
Dyrket jord	16,0	3	128	131	0,2	8,0	8,2
Totalt	151,2	466	2012	2478	3,1	13,3	16,4

1.4 Prosjektets formål

Formålet med dette prosjektet er å gi en kunnskapsstatus om opptak/utslipp og lagring av CO₂ og andre klimagasser i ulike norske naturtyper, deres innbyrdes betydning for karbonlagring og sårbarhet for menneskelig aktivitet. I denne rapporten brukes begrepet naturtyper om hovednaturtypene jordbruksareal, skog, myr og åpen fastmark.

2. Utbredelse av ulike naturtyper i Norge

Tabell 2 viser utbredelsen av hovedtyper av areal i Norge (unntatt Svalbard og Jan Mayen), basert på data fra SSB og Kartverket. SSB opererer med større bebygd areal og mindre areal med fjell og vidde. For de øvrige klassene er det relativt små forskjeller mellom de to datakildene.

Tabell 2. Landareal i Norge fordelt på ulike arealtyper. Kilde SSB (<http://www.ssb.no/areal/>) og Kartverket (http://www.statkart.no/nor/Land/Fagomrader/Arealer_og_tall/).

	SSB		Kartverket	
	Km ²	%	Km ²	%
Totalt	323 782	100,0	323 787	100,0
Bebygd areal	4 533	1,4	1 438	0,4
Jordbruk	10 361	3,2	9 578	3,0
Myr/våtmark	18 779	5,8	18 800	5,8
Ferksvann/breer	22 665	7,0	22 530	7,0
Skog	123 685	38,2	124 274	38,4
Fjell og vidde	143 759	44,4	147 167	45,5

Markslag i økonomisk kartverk gir en mer detaljert inndeling av arealtyper, spesielt jordbruksareal og skog. Tabell 3 viser utbredelse av ulike areal- og naturtyper på grunnlag av digitalt markslag i økonomisk kartverk.

Jordbruksareal er gruppert i:

- Fulldyrka jord som kan brukes til åkervekster eller til eng og kan fornyes gjennom pløying.
- Overflatedyrka jord som for det meste er ryddet og jevnet i overflata slik at maskinell høsting er mulig.
- Innmarksbeite som kan brukes som beite, men ikke høstes maskinelt. Minst 50 % av arealet skal være dekt av grasarter.

Skogareal er gruppert i klasser etter potensiell produksjonsevne for trevirke:

- Høg og svært høg bonitet (G17 eller større) med forventet produksjonsevne større enn 0,5 m³ dekar⁻¹ år⁻¹.
- Middels bonitet (G11-G14) med forventet produksjonsevne mellom 0,3-0,5 m³ dekar⁻¹ år⁻¹
- Lav bonitet (G6-G8) med forventet produksjonsevne mellom 0,1-0,3 m³ dekar⁻¹ år⁻¹
- Uproduktiv skog (impediment) med forventet produksjonsevne mindre enn 0,1 m³ dekar⁻¹ år⁻¹.

Myr er åpent eller skogdekt areal med minst 30 cm tykt torvlag, som på overflata har preg av myr. Torvmark er skogdekt areal med minst 30 cm torvlag, som på overflate ikke har preg av myr, og som inngår som en del av skogarealet.

Økonomisk kartverk dekker den delen av landet som har størst økonomisk interesse og som utgjør ca 55 % av landarealet. Ikke kartlagt areal og vann utgjør ca 155 000 km² og omfatter fjellområder og en del områder med myr og uproduktiv skog.

Tabell 3. Kartlagt areal i økonomisk kartverk (digitalt markslag) fordelt på arealtyper Kilde: Institutt for skog og landskap (http://dmk.nijos.no/xml_filer/Norge_arstat.xml).

	Km ²	%
Totalt	323 781	100,0
Bebyggd areal og samferdsel	2 553	0,8
Jordbruksareal	11 015	3,4
Fulldyrka	8 735	2,7
Overflatedyrka	367	0,1
Innmarksbeite	1 914	0,6
Skog på fastmark	103 858	32,1
Høy og svært høy bonitet	22 787	7,0
Middels bonitet	26 145	8,1
Lav bonitet	24 320	7,5
Impediment	30 607	9,5
Myr/våtmark	14 185	4,4
Åpen myr	11 741	3,6
Skog på myr	2 444	0,8
Åpen fastmark	46 871	14,5
Åpen jorddekt fastmark	15 204	4,7
Åpen grunnlendt fastmark	24 148	7,5
Fjell i dagen og blokkmark	7 520	2,3
Ikke kartlagt og vann	145 300	44,9

AR50 er en type arealressurskart som produseres av Institutt for skog og landskap, og som har større dekningsområde enn økonomisk kartverk. Arealer av ulike arealtyper i AR50 er vist i tabell 4. For områder som er dekt med økonomisk kartverk, er kartet avledet fra digitalt markslag. Jordbruksareal er en prioritert arealtype i generaliseringen av AR50-datasettet. Polygonene med jordbruksareal kan derfor få større areal på bekostning av nabopolygoner. Jordbruksarealet fra AR50 er derfor noe overestimert. Utenfor dekningsområdet for økonomisk er klassifiseringen basert på vegetasjonskartlegging eller tolking av satellittbilder. AR50-dataene gir spesielt viktig tilleggsinformasjon til klassen "åpen fastmark", som har liten dekning i økonomisk kartverk.

Ingen av disse inndelingene skiller ut semi-naturlig mark, som er arealer preget av lang tids tradisjonell jordbruksdrift som beite og slått. Mesteparten av skog, myr og våtmark samt åpen fastmark har imidlertid vært brukt til beite, slått eller annen fôrhøsting, og store arealer bærer fortsatt preg av det. Hvor stort areal av skog, myr og åpen fastmark som i dag bør defineres som semi-naturlig har vi imidlertid ikke oversikt over. Av åpen fastmark må imidlertid mesteparten av "frisk vegetasjon" og "sammenhengende, middels frisk vegetasjon" samt delvis "flekvis skrinnet vegetasjon" regnes som semi-naturlig. Slått av myr og andre utslåtter har opphørt og utmarks- og seterbruket har gått sterkt tilbake, men utmarksbeite spiller fortsatt en viktig rolle i noen regioner. I 2007 var mer enn to millioner husdyr på utmarksbeite i minst åtte uker. Også en stor del av skog- og myrarealet kan derfor defineres som semi-naturlig. Semi-naturlig mark utgjør derfor fortsatt et betydelig areal.

Noen eksempler fra Institutt for skog og landskaps kartleggingsprosjekter kan illustrere hvor store arealer som fortsatt er semi-naturlige eller som er i en faseovergang fra semi-naturlig til naturlig vegetasjon (Anders Bryn personlig meddelelse):

- Ca. 15 % av landarealet i Norge (dvs. ca. 50 000 km²) har fortsatt åpen semi-naturlig vegetasjon (som inkluderer boreal hei og eng, kystlynghei, fukteng og andre vegetasjonsklasser) som vil gro igjen til skog hvis bruken opphører (Bryn og Debella-Gilo 2008).
- I 2001 var ca. 49 % av arealet med vegetasjon på Venabygdsfjellet fortsatt semi-naturlig. Ca. 50 % av denne semi-naturlige vegetasjonen besto av skog i ulike suksesjonsfaser, dvs. skog som var inne i et treslagsskifte fra fjellbjørk til gran (Bryn 2008).
- I 2006 hadde ca. 8 % av skogen i Ballangen fortsatt mer enn 50 % (beiteindusert) grasdekning. I tillegg var ca. 0,5 % hagemarksskog. Dette kan tyde på at en stor del av dagens skog i Norge fortsatt er av semi-naturlig opprinnelse og kvalitet.

Semi-naturlig vegetasjon utgjør også store arealer i kystområdene. Et kartleggingsprosjekt i Froan, en øygruppe i Sør-Trøndelag, viste for eksempel at mesteparten av dagens vegetasjon og jordsmonn var formet av menneskelig aktivitet. En modellering av endringspotensialet i Froan viste at bare 8 % av arealet ville bli uforandret hvis øya fikk gro igjen (Bryn et al. 2010).

Kartlegging av Beitostølen viser at mer enn 50 % av arealet har en annen vegetasjonstype enn det den potensielt skulle ha. Tilsvarende situasjon kan også vises med utgangspunkt i kartlegging fra Hadsel i Vesterålen og Vik i Sogn.

Tabell 4. Arealer av ulike naturtyper i Norge beregnet fra arealressurskart (AR50). Kilde: Institutt for skog og landskap.

	km ²	%
Totalt areal	324 100	100,0
Jordbruksareal	12 658	3,9
Fulldyrket	10 641	3,3
Overflatedyrket og gjødslet beite	1 960	0,6
Jordbruk uspesifisert	57	0,0
Skogareal	126 113	38,9
Skog høg og særs bonitet	24 975	7,7
Skog lav bonitet	23 290	7,2
Skog middels bonitet	27 227	8,4
Skog impediment	50 621	15,6
Myr	21 723	6,7
Åpen myr	15 204	4,7
Myr med skog	6 519	2,0
Åpen fastmark	140 150	43,2
Frisk vegetasjon	38 196	11,8
Sammenhengende, middels frisk vegetasjon	38 434	11,9
Lavdekt mark	3 769	1,2
Flekkvis skrinnet vegetasjon	35 069	10,8
Ikke vegetasjon	22 547	7,0
Åpen uspesifisert fastmark	2 135	0,7
Isbre	3 038	0,9
Bebyggd areal	1 859	0,6
Ferskvann, innsjøer og elver	18 559	5,7

3. Jordbruksareal

3.1 Arealer og karbonlager

Karbonmengden i biomasse på jordbruksarealer viser stor variasjon i løpet av sesongen og mellom vekster. På åkerareal kan mengden av levende plantebiomasse variere fra null i nypløyd jord til ca 1000 kg tørrstoff dekar⁻¹ i et utvokst plantebestand. På grasmark kan biomassen variere fra ca 1000 kg tørrstoff dekar⁻¹ utenom vekstsesongen til ca 1500 kg like før slått. Dersom en forutsetter at 50 % av kornarealet blir høstpløyd og at biomassen inneholder 44 % C, kan den gjennomsnittlige karbonmengden i biomasse på årsbasis anslås til ca 150 kg C dekar⁻¹ på åkerarealer og ca 500 kg C dekar⁻¹ på grasmark. Den totale karbonmengden i biomasse på jordbruksareal (66 % gras og 34 % åker) kan på dette grunnlaget beregnes til ca 4,2 millioner tonn C.

Karboninnholdet i dyrket jord i Norge (tabell 5) er tidligere beregnet av Institutt for skog og landskap i et prosjekt på oppdrag for Statens landbruksforvaltning, om en kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord (Grønlund et al. 2008). Karboninnholdet er beregnet for 5 hovedkategorier for dyrket jord. Mineraljord er gruppert i uplanert jord og planert jord, med gjennomsnittlig karbonmengde på henholdsvis 16 og 10 tonn C dekar⁻¹. Hovedårsaken til det lave karboninnholdet i planert jord er at deler av den opprinnelige karbonmengden er gravd ned til større dybde enn 1 meter under planeringsarbeidet. Dyrket myr er gruppert i 3 klasser etter torvtykkelse, 30-40 cm, 40-100 cm og mer enn 100 cm, med gjennomsnittlig karbonmengde på henholdsvis 37, 45 og 78 tonn C dekar⁻¹. Av tabell 5 går det fram at dyrket myr i gjennomsnitt inneholder mer enn 3 ganger så mye karbon i den øverste meteren per arealenhet som mineraljord.

Tabell 5. Karbonmengde i dyrket jord i Norge.

	Areal, dekar	Karbonmengde i øverste meter	
		Totalt mill. tonn	Tonn per dekar
Totalt	11 010 187	201	18
Mineraljord	10 178 483	155	15
Uplanert	9 591 461	149	16
Planert	587 022	6	10
Myr	831 703	46	56
30-40 cm torv	211 259	8	37
40-100 cm torv	292 836	13	45
>100 cm torv	327 609	25	78

Innenfor de ulike kategoriene av dyrket jord er det stor variasjon i karboninnhold. På grunn av fuktigere klima og større andel gras er karboninnholdet i mineraljord generelt høyere på Vestlandet enn i landet for øvrig.

3.2 Klimagassflukser

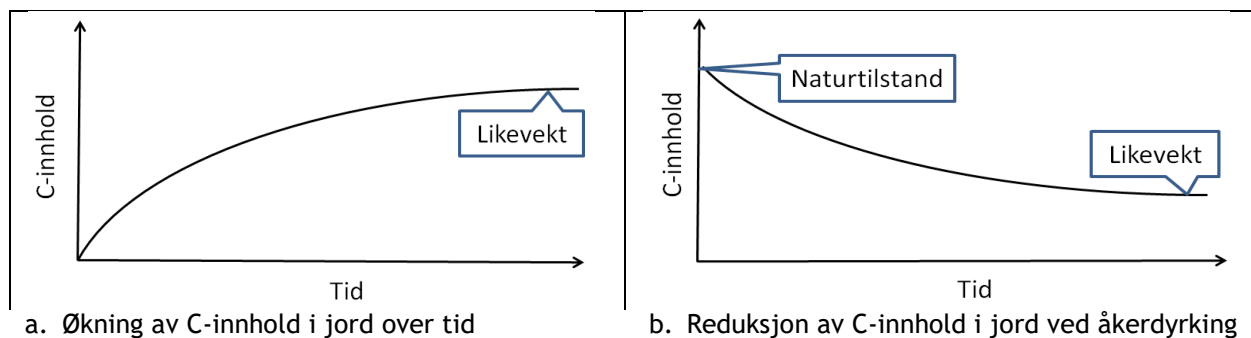
Bonesmo & Seljemo (2008) har beregnet den årlige karbonbindingen gjennom fotosyntesen på jordbruksreal i Norge til 2,83 millioner tonn C, fordelt på 1,85 tonn i avling og 0,98 tonn i residualer. Karbonmengden i husdyrgjødsel er beregnet til 0,72 millioner tonn C. I tillegg kan en anta at det tilføres ca 0,1 millioner tonn C i form av avløps slam og organisk avfall. Totalt årlig tilført karbon til jordbruksjord i Norge kan derfor anslås til ca 1,8 millioner tonn C. Forutsetningen for at karboninnholdet i jorda skal være i balanse eller øke, er at jordrespirasjonen og erosjon ikke utgjør mer enn 1,8 millioner tonn C per år.

Langvarig gras er den driftsformen i jordbruket som har størst evne til å binde karbon i jord. Årsaken er stor rotmengde, lang periode med plantevekst, liten erosjon og langsom mineralisering som følge av liten lufttilgang og dannelselse av aggregater som beskytter det organisk materialet mot

nedbryting. Det er likevel usikkert om det skjer noen netto karbonbinding i eldre grasmark i Norge. I grasmark med 20 tonn C dekar⁻¹ har den gjennomsnittlige karbonbindingen fra slutten av istiden og fram til i dag (ca 10 000 år) vært ca 2 kg C dekar⁻¹ år⁻¹. Under ellers like forhold er karbonbindingen størst i begynnelsen, når innholdet er lavt, og vil senere avta og nærme seg null når det er oppnådd likevekt mellom tilførsel og nedbryting (se figur 1a). En har ikke informasjon om hvorvidt det er likevekt i karboninnhold i grasmark i Norge i dag, men må anta at de årlige endringene er små i eldre grasmark.

Åkerdyrking og jordarbeiding kan føre til betydelige tap av karbon fra jord. Det gjennomsnittlige tapet ved ensidig åkerdyrking på Østlandet er estimert til ca 60 kg C dekar⁻¹ år⁻¹ (Riley & Bakkegard(2006)). Tapet har vært størst på sandjord med opprinnelig høyt karboninnhold og lavest på leirjord, noe som kan skyldes aggregatdannelse i leirjord. På grunn av større areal med redusert jordarbeiding om høsten de senere årene kan tapet ha blitt noe mindre, f. eks. ca 50 kg per dekar. Dersom en antar at dette tapet er representativt for et areal på 2,5 millioner dekar, kan det totale årlige tapet anslås til 125 000 tonn C som tilsvarer ca 450 000 tonn CO₂.

Det er ventet at nedgangen i karboninnholdet ved åkerdyrking vil avta etter hvert og at det innstiller seg ny likevekt på et noe lavere nivå (se figur 1b.) Karbontapet ved åkerdyrking kan reduseres ved endret jordarbeiding, direktesåing av korn, bruk av fangvekster, nedmolding av halm, vekstskifte med gras og bruk av organisk gjødsel og jordforbedringsmidler. Omlegging fra åker til gras vil med stor sannsynlighet føre til økt karbonbinding i jord, spesielt de første årene, men beregninger har vist at et slikt tiltak ikke vil gi noe netto reduksjon av klimagassutslippene når en tar hensyn til utslippene av metan og lystgass når graset fordøyes av drøvtyggere (Grønlund 2010).



Figur 1. Prinsippskisse for endringer i karboninnhold over tid.

Drenering og oppdyrking av myr fører til nedbryting av organisk materiale og store tap av CO₂ og lystgass til atmosfæren. Karbontapet i dyrket myr langs kysten fra Sørlandet til Trøndelag er estimert til ca 0,8 tonn C dekar⁻¹ år⁻¹ i gjennomsnitt for årene 1950-1980. Det er sannsynlig at det aktuelle årlige karbontapet nå har blitt lavere, f. eks. 0,5 tonn dekar, på grunn av mer omsatt torv og høyere mineralinnhold i det gjenværende organiske materialet. Ifølge statistikk over nydyrking skal det være dyrket mellom 1,7 og 1,9 millioner dekar myr i Norge fram til 1992 (Johansen 1997). Bare ca halvparten av dette arealet, ca 0,8 millioner dekar, kan nå gjenfinnes som dyrket myr. Årsaken til dette avviket er flere. Det kan ikke utelukkes at det dyrkede myrarealet kan være overestimert, bl. a. fordi det kan være gitt nydyrkingstilskudd til areal som har vært dyrket tidligere og som har hatt behov for grøfting. Men hovedårsaken til nedgangen i arealet med dyrket myr må tilskrives myrsynkingen. En del av det dyrkede myrarealet har blitt omdannet til mineraljord som følge av nedbrytingen av torvlaget. En annen del er blitt tatt ut av drift, enten som følge av at torvlaget ligger direkte på fjell og at jorda etter hvert ikke kan drives på tilfredsstillende måte, eller at jorda ikke lar seg drenere på grunn av for lav beliggenhet i forhold til elv eller innsjø. Dersom en går ut fra at arealet for dyrket myr er 0,75 millioner dekar og at det årlige tapet er 0,5 tonn C dekar⁻¹, kan det totale tapet fra dyrket myr anslås til 0,375 millioner tonn C som tilsvarer ca 1,4 millioner tonn CO₂. Summen av tapene fra ensidig åkerdyrking og dyrket myr kan anslås til ca 0,5 millioner tonn C eller i underkant av 2 millioner tonn CO₂.

Jordbruksareal er en betydelig kilde til utslipp av lystgass. De offisielle utslippene er basert på IPCC-faktorer, hvor en antar at 1,25 % av tilført nitrogen i mineralgjødsel, husdyrgjødsel, avrenning fra jordbruksareal, N-fiksering i belgvekst og restavlinger omdannes til lystgass, og at mineralisering av dyrket myr bidrar med 1,25 kg N₂O dekar⁻¹ år⁻¹. De totale årlige utslippene er estimert til 6900 tonn N₂O, som tilsvarer ca 2,1 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Per dekar utgjør dette i gjennomsnitt 0,63 kg N₂O eller ca 200 kg CO₂-ekvivalenter. IPCC's beregningsmetode er svært

usikker og tar ikke hensyn til f. eks. dreneringstilstand og jordpakking som har stor betydning for lystgassutslippene. De faktiske utslippene kan være betydelig større enn de estimerte, og vil dessuten variere sterkt etter bl. a. jord- og værforhold.

Jordbruket er også en betydelig kilde til utslipp av metan fra drøvtyggere og husdyrgjødsellager. Det totale utslippet er estimert til 105 000 tonn CH₄ som tilsvarer ca 2,2 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Ca 85 % av utslippene kommer fra fordøyelse av gras hos drøvtyggere. Selv om dyrket jord ikke antas å være noen kilde til metanutslipp, er metanutslippene fra drøvtyggerne en direkte konsekvens av grasproduksjonen. En kan vanligvis gå ut fra at mellom 6 og 7 % av karbonet i gras blir omdannet til metan under fordøyelsen. En gjennomsnittlig grasavling i Norge på 630 kg høy per dekar vil gi et utslipp på ca 20 kg metan fra fordøyelsen og ca 1 kg fra lager, som til sammen tilsvarer ca 430 kg CO₂-ekvivalenter.

4. Skog

4.1 Metodikk

Karbonmengde i biomasse i skog er beregnet på grunnlag av data fra Landsskogtakseringen. Arealklassene er i samsvar med IPCC Good practice Guidelines for Land use land use change and Forestry (IPCC 2003). Skogareal er definert i samsvar med Global Forest Resources Assessment (FRA) (2004) som areal med trekrone som dekker mer enn 10 % av overflata, som er minst 5 dekar, og hvor trærne er eller kan bli minst 5 meter høye. Unge skogbestand, plantefelt og temporære hogstflater inngår i klassen skogareal.

Karbon i biomasse omfatter alle levende trær som er minst 1,3 meter høye. Mindre trær, kratt og annen vegetasjon inngår ikke i tallene. Biomassen av trær med stammediameter mer enn 50 mm i brysthøyde (1,3 meter over bakken) er målt individuelt. Både over- og underjordisk biomasse er rapportert. Overjordisk biomasse er definert som levende biomasse over stubbehøyde (1 % av trehøyde). De ulike komponentene av biomasse, det vil si stamme, bark, levende og døde greiner og barnåler, er beregnet ved bruk av en regresjonsfunksjon utviklet av Marklund (1988). Funksjonen brukes for gran, furu og bjørk som utgjør ca 92 % av stående skogvolum (Larsson et al. 2007). Underjordisk biomasse er definert som levende biomasse under stubbhøyde og ned til en rot-diameter på 2 mm, og er beregnet ved en regresjonsfunksjon av Petersson & Ståhl (2006). Levende biomasse er beregnet med den samme metode fra basisåret 1990 og framover. Biomasse for alle trær med diameter større enn 5 mm i brysthøyde er beregnet på grunnlag av diameter og høydemåling.

Endringer i biomasse er beregnet ved bruk av IPCC's (2003) metode. Metoden tilsvarer Tier 3 som er en kombinasjon av nasjonal skoginventering og modellberegning for å estimere endringer i biomasse.

Endringer i karbonlageret i dødt organisk materiale og jord er beregnet ved bruk av Yasso-modellen som er beskrevet av Liski et al. (2005) og for norske forhold av de Wit et al. (2006). Yasso-modellen beregner akkumuleringen av død ved og organisk materiale i skogsjord og er tilpasset data avledet fra skoginventeringer (Liski et al. 2005). Input-data i Yasso-modellen er estimater av strø og død ved fra stående biomasse, naturlig dødelighet, rester etter hogst og stubber og røtter etter hogde trær.

Karbonmengde i skogsjord i Norge er beregnet av de Wit & Kvindesland (1999) på grunnlag av ca 1000 jordprofiler beskrevet i forbindelse med skogovervåking i Norge. For hvert jordsjikt ble karbonmengden beregnet etter ligningen:

$$C_{\text{lager}} = \text{Dybde} * \text{Volumvekt} * C_{\text{konstentrasjon}} * \text{Korreksjonsfaktor}_{\text{stein}}$$

4.2 Karbonlager

Innenfor det arealet som dekkes av Landsskogtakseringen er karbonmengden i levende biomasse i skog beregnet til 388 millioner tonn C i 2008, hvorav 304 tonn (78 %) i overjordisk biomasse og 84 tonn (22 %) i røtter i jord (tabell 6 og 7). Landsskogtakseringen dekker et areal på ca 99 000 km², mens det totale skogarealet i Norge, inkludert uproduktiv skog, er beregnet til ca 125 000 dekar (jfr. tabell 2 og 4). Differansen, som er ca 26 000 km², er hovedsakelig fjellskog og skog i Finnmark. Gjennom en egen taksering er mengde biomasse i fjellskogen og et anslag for skog i Finnmark, er karbonmengden i disse arealene beregnet til ca 23 millioner tonn C, fordelt på 18 millioner tonn C i levende trær og 5 millioner tonn C i røtter (tabell 7). Karbonmengden i levende biomasse i skog kan dermed estimeres til ca 410 millioner tonn C. I tillegg kan en anta at død biomasse (døde trestammer og strø) utgjør ca 10 % av levende biomasse, altså ca 40 millioner tonn C. Den totale mengden karbon i biomasse i skog kan dermed anslås til ca 450 millioner tonn C.

De Wit & Kvindesland (1999) har estimert karboninnholdet i skogsjord i Norge til 13,2 tonn C dekar⁻¹ for produktiv skog, 12,5 tonn C dekar⁻¹ for uproduktiv skog og 24 tonn C dekar⁻¹ for skog på organisk jord. Det totale karbonlageret i skogsjord for et areal på 96 330 dekar, er på dette grunnlaget estimert til 1,33 milliarder tonn C, fordelt på 0,96 milliard tonn på produktiv skog, 0,22 milliarder tonn på uproduktiv skog og 0,15 milliarder tonn på skog på organisk jord (tabell 8). Humussjiktet bidro med noe under halvparten av karbonmengden i mineraljord. Skogareal utenfor dette området,

som dekker et areal på ca 28 000 km², kan antas å inneholde ca 0,36 millioner tonn C, forutsatt samme karboninnhold per dekar som annen uproduktiv skog (12,5 tonn C dekar⁻¹). Totalsummen for karbon i skogsjord i Norge kan på dette grunnlaget estimeres til 1,69 milliarder tonn C. de Wit & Kvindesland (1999) antok at karbonmengden i skogsjord kan være overestimert på grunn av tynt jorddekke. En vil derfor anta at karbonmengden i skogsjord er mellom 1,4 og 1,7 milliarder tonn C, med 1,55 milliarder tonn som en middelvei.

Summen av karbon i biomasse (0,45 milliarder tonn C) og jord (1,55 milliarder tonn C) i skog kan dermed anslås til ca 2 milliarder tonn C, hvorav overjordisk biomasse bidrar med ca 18 %, røtter ca 5 % og jord ca 77 %.

de Wit et al. (2006) har laget et karbonbudsjett for produktiv skog i Sørøst-Norge, hvor den estimerte karbonmengden var omtrent 40 % av den målte mengden. Det ble konkludert med at i tillegg til usikkerheten i startbetingelsene, kunne underestimeringen delvis skyldes overestimering av nedbrytningen av motstandsdyktig organisk materiale og delvis det faktum at bare trær var kilde til strø. Usikkerheten i de to sistnevnte faktorene påvirket estimatene for jordkarbon minimalt. de Wit et al. (2006) påpeker at usikkerheten i estimatene vil reduseres dersom en lengre historisk tidsserie fra skoginventeringer hadde vært tilgjengelig for å generere startverdiene for modellen. I henhold til en usikkerhetsanalyse og sammenligning av modellberegnete estimater med målinger fra forskjellige prøvefelter i finske skoger konkluderte Liski et al. (2005) med at mengden jordkarbon er usikker av natur, fordi det avhenger hovedsakelig av usikre humusparametre og relativt liten kjennskap til dannelse og nedbryting av humus.

Tabell 6. Total mengde karbon i levende trær og nettoendring i karbon for levende trær, strø og dødt organisk materiale

År	Total mengde, million tonn C			Netto endring, million tonn C per år						
	Levende trær over jord	Levende biomasse (røtter) i jord	Total levende trebiomasse	Levende trær over jord	Levende biomasse (røtter) i jord	Levende trebiomasse	Død ved*	Strø*	Dødt organisk materiale (død ved og strø)*	Karbon i jord*
1990	240	66	306	1,9	0,5	2,5	0,4	0,1	0,6	0,8
1991	242	67	309	1,9	0,5	2,5	0,2	0,1	0,3	0,8
1992	244	68	311	1,9	0,5	2,5	0,1	0,1	0,2	0,8
1993	246	68	314	1,9	0,5	2,5	0,2	0,1	0,3	0,7
1994	248	69	316	1,9	0,5	2,5	0,0	0,1	0,2	0,8
1995	249	69	319	1,9	0,5	2,5	0,3	0,2	0,4	0,7
1996	251	70	321	1,9	0,5	2,5	0,1	0,1	0,2	0,8
1997	253	70	323	1,9	0,5	2,5	0,2	0,1	0,3	0,8
1998	255	71	326	1,9	0,5	2,5	0,1	0,1	0,2	0,8
1999	258	72	330	2,7	0,8	3,4	0,2	0,1	0,3	0,7
2000	262	73	334	3,6	0,9	4,5	0,2	0,1	0,3	0,8
2001	266	74	339	3,9	1,0	4,9	0,3	0,1	0,4	0,8
2002	271	75	345	4,9	1,3	6,2	0,2	0,1	0,3	0,8
2003	276	76	352	5,5	1,4	6,9	0,2	0,1	0,3	0,8
2004	281	78	359	5,4	1,4	6,8	0,3	0,1	0,4	0,8
2005	287	79	366	5,6	1,4	7,0	0,5	0,2	0,7	0,8
2006	292	80	372	4,5	1,2	5,7	0,4	0,1	0,5	1,0
2007	297	82	379	4,9	1,3	6,2	0,6	0,2	0,8	1,0
2008	304	84	388	6,1	1,7	7,8	0,5	0,2	0,7	1,1

*Beregnet ved bruk av modell

Tabell 7. Estimert karbonmengde i biomasse i skog, millioner tonn C.

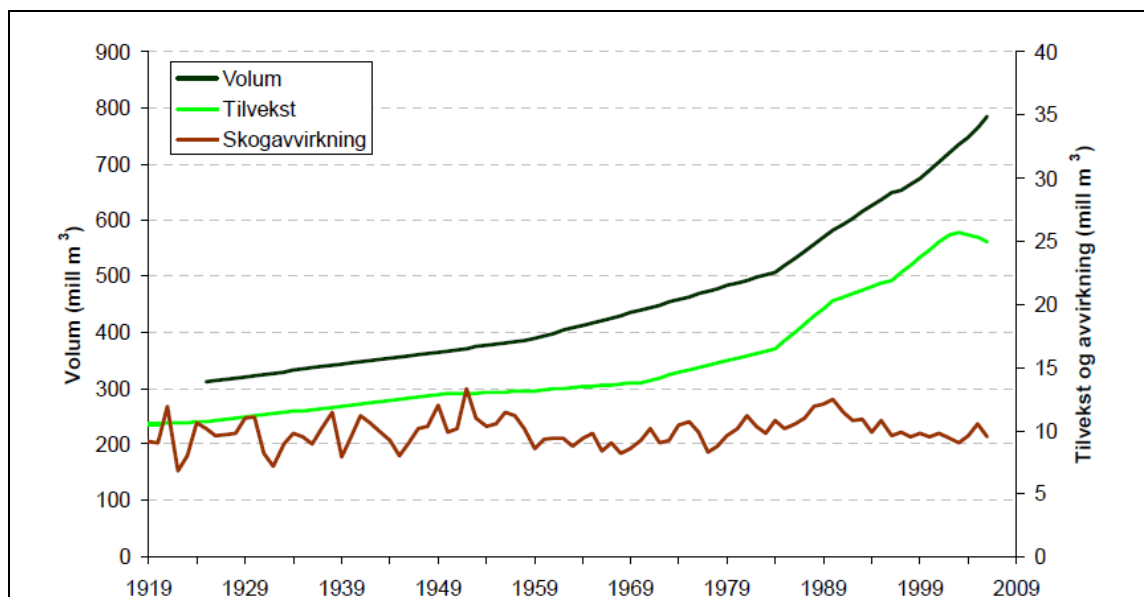
	Trær	Røtter	Totalt levende biomasse	Død biomasse	Totalt biomasse skog
Totalt for alt skogareal	322	89	410	41	452
Landsskogtakseringens areal	304	84	388	39	426
Fjellskog og Finnmark	18	5	23	2	25

Tabell 8. Estimert karbonmengder i skogsjord.

	Areal km ²	Tonn C/dekar	Milliarder tonn C
Alt skogareal	125 000	13,5	1,69
Skogareal dekt av landsskogtakseringen	96 330	13,8	1,33
Produktiv skog	72 730	13,2	0,96
Uproduktiv skog	17 210	12,5	0,22
Skogdekt myr	6 390	24,0	0,15
Skogareal utenfor landsskogtakseringen	28 670	12,5	0,36

4.3 Endringer i karbonlageret i skog

Endringer i volum trevirke, årlig tilvekst og avvirking i skog i perioden 1919-2008 er vist i figur 2. I hele denne perioden har tilveksten vært større enn avvirkingen. De siste 20 årene har tilveksten vært om lag dobbelt så stor som avvirkingen. Dette har ført til økt netto tilvekst og økt volum av trevirke i skog.



Figur 2. Utvikling i volum, årlig tilvekst og skogavvirking i perioden 1919-2007. Kilde: SSB, Norsk institutt for skog og landskap, kopiert fra Klimakur 2020 (Klif, 2010).

Tabell 6 viser at karbonlageret i levende biomasse i skog har økt fra 306 til 388 millioner tonn C og at netto årlig endring har økt fra 2,5 millioner til 7,8 millioner tonn C i perioden 1990 til 2008. Forholdet mellom karbon i overjordisk biomasse og røtter er forutsatt å være 78/22. I løpet av snaut 20 år er altså nettotilveksten mer enn tredoblet. Det meste av økningen kan tilskrives økt netto tilvekst på eksisterende skogareal, men en del skyldes også at skogarealet har økt som følge av skogplanting, gjengroing og flytting av skoggrensa mot fjellet.

Ifølge modellberegninger har karbonmengden i død biomasse (død ved og strø) og jord også økt. Karboninnholdet i strø har hatt en relativt stabil økning på mellom 0,1 og 0,2 millioner tonn C, mens innholdet i død ved har hatt en mer varierende økning, fra mindre enn 0,1 til mer enn 0,5 millioner tonn C per år. Karboninnholdet i jord har ifølge beregningene økt med mellom 0,7 og 0,8 millioner tonn C per år i årene 1990-2005 og ca en million tonn C de siste årene. De estimerte endringene i død biomasse og jord, som er basert på modellberegninger, må antas å være beheftet med større

usikkerhet enn endringene i levende biomasse som er beregnet på grunnlag av direkte målinger gjennom Landsskogtakseringens program.

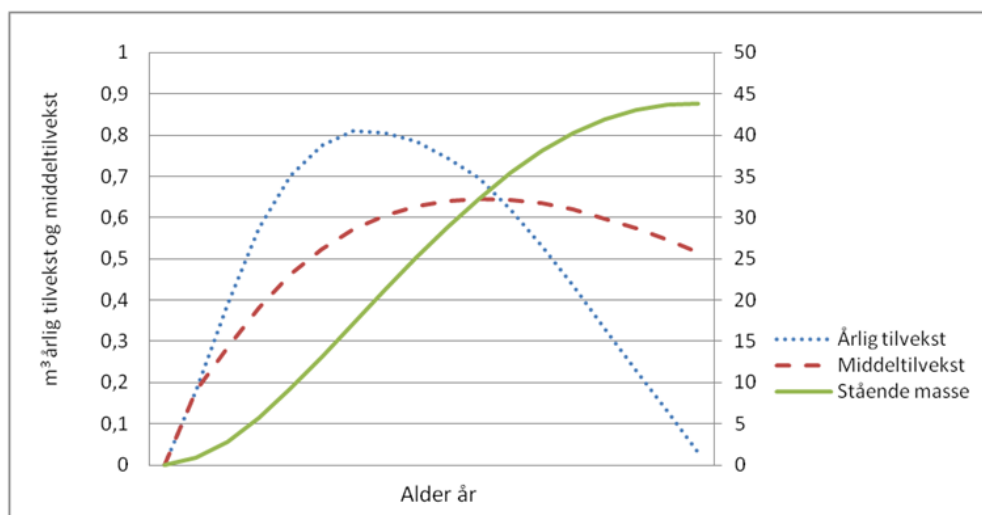
Karbonbindingen i norske skoger er i dag på et historisk høyt nivå og skyldes jevn og moderat avvirkning, omfattende skogplanting i årene 1950 - 1970 og gjengroing av beite- og slåttemark. Økt skogareal som følge av flytting av skoggrensa mot fjellet på grunn av opphør av seterbruk og klimaendringer, kan bidra til fortsatt økt karbonbinding i biomasse. Men skog har vanligvis lavere albedo enn et åpent landskap, spesielt i områder med snø. Den reduserte albedo-effekten av skog kan bidra til global oppvarming som kan motvirke klimaeffekten av økt karbonbinding (Betts, 2000). Spesielt i nordlige og høyereliggende områder, hvor tilveksten og karbonbindingen er liten, kan nettoeffekten være økt oppvarming.

4.4 Sårbarhet

Skog har flere viktige funksjoner for å redusere CO₂-innholdet i atmosfæren:

- Lagring av karbon i stående biomasse
- Bruk av trevirke som byggemateriale, som fører til lagring av karbon og i tillegg redusert utslipp ved framstilling av alternative byggematerialer (stål og sement)
- Bruk av skogsvirke som bioenergi for å redusere utslippene av fossilt karbon.

Det vil ofte være et motsetningsforhold mellom lagring av karbon i skog og bruk av tømmer til trevirke eller energi. For å få maksimal utnyttelse av skogen som CO₂-binder må en både opprettholde karbonlageret i skog og sørge for en høy årlig karbonbinding.



Figur 3. Eksempel på sammenhengen mellom alder, årlig tilvekst, middeltilvekst og stående masse i skog. m³ per dekar.

Både karbonlageret og karbonbindingen i skog kan reduseres som følge av menneskelig aktivitet, først og fremst hogst, men også av arealbruksendringer. Virkningen av hogst vil avhenge av flere faktorer, bl. a. bestandets alder, årlig tilvekst før og etter hogst og hva tømmeret brukes til. Figur 3 viser et eksempel på sammenhengen mellom skogens alder og årlig tilvekst, middeltilvekst og stående masse. Middeltilvekst er beregnet som stående masse dividert med bestandets alder.

Den årlige tilveksten i skog øker raskt de første årene etter etablering, avtar når skogen har nådd en viss alder og blir null i gammel skog. Maksimal tilvekst og karbonbinding i biomasse oppnås når skogen avvirknes ved den alderen hvor middeltilveksten er høyest. Som vist i figur 3 er dette den alderen hvor kurvene for årlig tilvekst og middeltilvekst krysser hverandre. Stående masse i skog vil imidlertid øke så lenge skogen vokser og først nå sitt maksimum når den årlige tilveksten er null.

Når skogen hogges, vil karbonlageret i skog reduseres tilsvarende. Dersom tømmeret brukes til byggematerialer, kan en del av karbonet lagres i svært lang tid. Det totale karbontapet kan bli lavt, og kan i løpet av få år bli kompensert av tilvekst av ny skog, spesielt når tilveksten av den nye skogen skjer raskere enn den gamle skogen før hogst. Men dersom tømmeret utelukkende brukes til brensel, vil det umiddelbart omdannes til CO₂, og det vil normalt ta 70-120 år før det er bygd opp tilsvarende karbonlager i skog. Dersom bare grener og toppe (GROT) brukes til brensel, tar det kortere tid til det er oppnådd positiv karbonbalanse. Netto klimagassutslipp kan reduseres dersom

brenselet brukes til å erstatte fossil fyringsolje eller elektrisitet produsert av fossilt karbon. Bruk av skogsvirke til energiformål kan bare ventes å gi reduserte CO₂-utslipp når deler av tømmeret langtidslagres som trevirke.

Den optimale alderen for avvirkning av skog av hensyn til klimaeffekter vil normalt være et sted mellom alderen for maksimal middeltilvekst og maksimal mengde stående masse. Denne alderen vil avhenge av tilveksten og bruken av tømmeret og hvor raskt en ønsker å redusere nettoutslippene av CO₂.

Hogst kan også føre til redusert karbonlager i jord. På grunn av mer lys og høyere temperatur i jordoverflata vil nedbrytingen av organisk materialet skje raskere i et hogstfelt enn i en tett skog. For granskog i Norge har medianverdien for karboninnholdet i toppsjiktet blitt målt til 4,8 kg C m⁻² for hogstklasse II og III, 5,5 kg C m⁻² for hogstklasse IV og 7,0 kg C m⁻² for hogstklasse V (de Wit & Kvindesland 1999). Tilsvarende tall for furuskog var 3,3 kg C m⁻² for hogstklasse II og III, 4,3 kg C m⁻² for hogstklasse IV og 4,9 kg C m⁻² for hogstklasse V. Hogstklasse I, som er snauflater uten trær, var ikke representert i undersøkelsen. Differansen mellom hogstklasse V og II/III var 2,2 kg m⁻² for granskog og 1,6 kg C m⁻² for furuskog og kan gi en indikasjon på nedgangen i karboninnholdet ved flatehogst. Denne nedgangen antas å være midlertidig. Karboninnholdet vil øke igjen etter hvert som skogen vokser, som følge av lavere jordtemperatur og mer strøfall fra trærne. En regner ikke med at karboninnholdet i de dypere sjiktene i mineraljord påvirkes av hogst.

Karbon i skogsjord kan også tapes som følge av maskinell drift. Store terreng-gående hogstmaskiner kan forårsake skader på vegetasjonsdekke og jordstruktur og dermed føre til erosjon.

Det er foreslått flere strategier for å øke lageret av karbon i biomasse og jord i skog, f. eks. planting av skog på nye arealer, gjødsling, skogplanteforedling, redusert avskogning, selektiv utvalg av tømmer (bledningshogst), kortere tidsrom mellom hogst og planting, økt bestandstetthet (færre tynninger) og økt omløpstid (Nilsen & de Wit 2001, Kjønås 2003, Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010, St.meld. nr. 39, 2008-2009).

Arealbruksendringer fra skog til jordbruk eller utbygging vil både redusere karbonlageret i skog og skogens potensial til framtidig karbonbinding. Matproduksjonen i Norge antas å måtte øke med ca 20 % de neste årene for å være takt med den forventede befolkningsøkningen. Dersom halvparten av produksjonsøkningen skjer i form av produktivitetsøkning på eksisterende jordbruksareal, vil det være behov for en økning av jordbruksarealet gjennom nydyrking på ca 10 %, eller ca 1 million dekar. På grunn av foreslåtte restriksjoner mot nydyrking av myr kan en anta at det aller meste av framtidig nydyrking i Norge vil skje i skog. Skog i Norge inneholder i gjennomsnittlig i ca 4 tonn C dekar⁻¹ i biomasse. Produktiv skog utgjør et areal på ca 80 000 km² og har en årlig tilvekst på 23 millioner m³ trevirke totalt og 0,29 m³ dekar⁻¹ som tilsvarer en karbonbinding på 133 kg C dekar⁻¹. Skog som er aktuell for dyrking må antas å gi en noe større produksjon enn gjennomsnittet, trolig ca 200 kg C dekar⁻¹. Oppdyrking av 1 million dekar skog kan under disse forutsetningene redusere skogens karbonkapital med i størrelsesorden 4 millioner tonn C i biomasse og den årlige karbonbindingen med 0,2 millioner tonn C. Denne reduksjonen er imidlertid ikke større enn den årlige økningen i karbonkapital og årlig karbonbinding som er registrert er siste årene.

Virkingen av dyrking på jordas karboninnhold vil avhenge sterkt av dyrkingsformen. Flerårig gras må antas å føre til moderate endringer i karboninnholdet. På jord med høyt naturlig karboninnhold på grunn av høy fuktighet, kan en vente lavere karboninnhold som følge av drenering, mens en i noen tilfeller kan forvente økt karboninnhold på naturlig næringsfattig jord med lavt karboninnhold. Ved ensidig åkerdyrking kan en alltid vente lavere karboninnhold enn i naturlig tilstand.

Bruk av skogareal til byggegrunn eller samferdsel vil også redusere karbonkapitalen og karbonbindingen i skog, men arealbehovet til slike formål må antas å være langt mindre enn behovet til jordbruksformål.

5. Myr

5.1 Arealer

Det totale arealet av myr er anslått til mellom 18 800 og 21 700 km² (tabell 2 og 4). Usikkerheten i arealene skyldes at det finnes betydelige områder som har myrvegetasjon, men for tynt torvlag (mindre enn 30 cm) til at arealet kan karakteriseres som myr etter jordfaglig terminologi.

Myr og torvmark kartlagt i økonomisk kartverk utgjør et areal på ca 15 200 km² (tabell 9). Av dette utgjør torvmark, som er skogareal med minst 30 cm torvlag, men uten myrvegetasjon, ca 800 km². Torvmark og myr som er vurdert som egnet til dyrking eller skogproduksjon er klassifisert etter torvdybde og omdanningsgrad, og utgjør omtrent halvparten av det kartlagte arealet med myr og torvmark. Det er skilt mellom to klasser etter torvdybde: grunn myr eller torvjord med torvtykkelse mellom 30 og 100 cm, og djup myr eller torvjord med torvtykkelse over 100 cm. Det er skilt mellom tre klasser etter omdanningsgrad: lite, middels og sterkt omdannet torv. Omdanningsgraden er bestemt både øvre lag (20-40 cm) og nedre lag (70-100 cm) for djup myr og torvmark egnet for dyrking. For grunn myr/torvmark og myr/torvmark bare egnet for skogproduksjon (ikke dyrking) er omdanningsgraden bare bestemt i øvre lag. Arealer av ulike klasser av myr og torvmark etter dybde og omdanningsgrad er vist i tabell 10.

Tabell 9. Arealer av myr og torvmark. Kilde: Digitalt markslag, Institutt for skog og landskap.

	Km ²
Totalt areal myr og torvmark	15 206
Myr egnet til dyrking	4 322
Myr egnet for skogreisning	2 480
Myr ikke egnet for dyrking eller skogreisning	7 583
Skog på torvmark, dyrkbar	477
Skog på torvmark, ikke dyrkbar	344

Tabell 10. Arealer av myr og torvmark fordelt på dybde og omdanningsgrad. Kilde: Digitalt markslag, Institutt for skog og landskap.

	Dekar
Myr og torvmark totalt	15 205 855
Dyrkbar myr totalt	4 321 646
Grunn	1 548 487
Lite omdannet	115 859
Middels omdannet	1 043 920
Sterkt omdannet	388 708
Djup	2 773 159
Lite i øvre og nedre lag	533 580
Lite omdannet i øvre og middels i nedre lag	462 033
Lite omdannet i øvre og sterkt i nedre lag	8 365
Middels omdannet i øvre og lite i nedre lag	7 969
Middels omdannet i øvre og nedre lag	1 213 051
Middels omdannet i øvre sterkt nedre lag	309 295
Sterkt omdannet øvre og lite nedre lag	848
Sterkt omdannet i øvre og middels i nedre lag	23 509
Sterkt omdannet i øvre og nedre lag	214 509
Myr egnet til skogreising totalt	2 479 739
Grunn	806 035
Lite omdannet	39 985
Middels omdannet	583 726
Sterkt omdannet	182 324
Djup	1 673 704
Lite omdannet i øvre lag	452 506
Middels omdannet i øvre lag	1 067 729
Sterkt omdannet i øvre lag	153 469
Ikke egnet for dyrking eller skogreising	7 583 455
Torvmark egnet for dyrking totalt	477 015
Grunn	219 102
Lite omdannet	4 838
Middels omdannet	116 065
Sterkt omdannet	98 199
Djup	257 913
Lite omdannet i øvre og nedre lag	13 470
Lite omdannet i øvre og middels i nedre lag	14 508
Lite omdannet i øvre og sterkt i nedre lag	679
Middels omdannet i øvre og lite i nedre lag	711
Middels omdannet i øvre og nedre lag	95 107
Middels omdannet i øvre sterkt nedre lag	54 881
Sterkt omdannet øvre og lite nedre lag	308
Sterkt omdannet i øvre og middels i nedre lag	6 297
Sterkt omdannet i øvre og nedre lag	71 952
Torvmark ikke egnet for dyrking totalt	344 000
Grunn	173 752
Lite omdannet	3 686
Middels omdannet	116 715
Sterkt omdannet	53 351
Djup	170 248
Lite omdannet i øvre lag	16 635
Middels omdannet i øvre lag	110 546
Sterkt omdannet i øvre lag	43 067

5.2 Metodikk for beregning av karbonlager

Karbonlageret i et jordsjikt i myr kan beregnes etter følgende ligning:

$$C_{\text{lager}} = \text{Dybde} \cdot \text{Volumvekt} \cdot C_{\text{konsentrasjon}}$$

Karbonmengden i myr og torvmark i Norge kan estimeres på grunnlag av parametre vist i tabell 11. Gjennomsnittlig torvdybde av grunn myr forutsettes å være 0,65 meter, som er midtverdien mellom klassegrensene (0,3-1 m). For de myrene som er inventert i regi av Det norske jord og myrselskap er den gjennomsnittlige torvdybden estimert til 1,98 meter, beregnet som sum volum/sum areal (tabell 12). Djup myr utgjør 78 % av dette arealet og har en estimert gjennomsnittsdybde på 2,36 meter. Det er forutsatt at gjennomsnittsdybden for de ulike klassene tilsvarer midtverdien mellom klassegrensene. For den djupeste klassen, som er tykkere enn 4 meter, har en forutsatt en gjennomsnittsdybde på 5 meter. Myrinventeringene er gjort i områder hvor man antok at torvdybden var stor og mulighetene for nydyrking var gode. Av de myrrealene som er klassifisert etter torvdybde i økonomisk kartverk utgjør djup myr 65 % av arealet. Dette kan tyde på at torvdybden på de inventerte myrene er større enn gjennomsnittet for myr i Norge. Gjennomsnittlig torvdybde for djup myr må derfor antas å være mindre enn 2,36 meter, og er i de følgende beregningene satt til 2 meter (tabell 11).

Tabell 11. Parametre brukt til beregning av karbonmengde i naturlig myr.

Gjennomsnitts dybde grunn myr	0,65 m
Gjennomsnitts dybde djup myr	2,0 m
Gjennomsnitts dybde myr ikke egnet til dyrking eller skogreising	1,0 m
Volumvekt lite omdannet torv	0,068 kg/liter
Volumvekt middels omdannet torv	0,085 kg/liter
Volumvekt sterkt omdannet torv	0,15 kg/liter
Volumvekt myr ikke egnet til dyrking eller skogreising	0,085 kg/liter
Gjennomsnittlig askeinnhold	5 %
Gjennomsnittlig C-innhold av organisk materiale	51 %

Tabell 12. Estimert gjennomsnittlig myrddybde på grunnlag av arealfordelingen av ulike dybdeklasser på inventert myr (Hovde 1983).

Klasse	Dybde m	Antatt gj.sn. dybde m	Areal dekar	Volum, 1000 m ³
1	0,3-1	0,65	338 650	220 123
2	1-2	1,5	602 019	903 029
3	2-4	3	519 454	1 558 362
4	>4	5	68 300	341 500
Sum/middel kl.1-4		1,98	1 528 423	3 023 013
Sum/middel kl.2-4		2,36	1 189 773	2 802 891

Torvas øvre lag, hvor omdanningsgraden er målt i dybden 20-40 cm, forutsettes å ha en tykkelse på 65 cm, som er den antatte gjennomsnittstykkelsen for grunn myr. Nedre lag, hvor omdanningsgraden er målt i dybden 70-100 cm, forutsettes å ha en gjennomsnittstykkelse på 135 cm, som er differansen mellom gjennomsnittsdybden for djup og grunn myr.

Volumvekt av torv øker generelt med økende omdanningsgrad. Finlands Geologisk Undersøkelse har en database med ca 60 000 analyser for torv og har beregnet gjennomsnittsverdier for volumvekt i forhold til omdanningsgrad etter von Post's skala (Kimmo Virtanen, personlig meddelelse). Det er ikke fullt samsvar mellom klassene middels og sterkt omdannet torv i Finland og Norge (se tabell 13). I Norge ligger disse klassene noe høyere i von Post's skala og kan derfor antas å ha noe høyere volumvekt enn tilsvarende klasser i Finland. Torv med omdanningsgrad H 9 og 10 er svært sjelden i Finland, men er mer vanlig i brenntorvmyrer i Norge. Njøs (1973) har gått ut fra en volumvekt på 0,050 kg for torv med omdanningsgrad H2, 0,10 kg/liter for H4-5 og 0,15 kg/liter for H7-8. I beregningene har valgt å sette volumvekten til 0,068, 0,085 og 0,15 kg/liter for henholdsvis lite, middels og sterkt omdannet torv.

Tabell 13. Gjennomsnittlig volumvekt av torv i forhold til omdanning

Omdanning	Finland		Norge	
	von Post's skala	Volumvekt, kg/liter	von Post's skala	Volumvekt, kg/liter
Lite	H 1-3	0,068	H 1-3	0,068
Middels	H 4	0,080	H 4-6	0,085
Sterkt	H 5-10 *)	0,091	H 7-10	0,15

*) Hovedsakelig H 5-8 etter von Post's skala. H 9-10 er veldig sjelden i Finland.

For myr som ikke er egnet for dyrking eller skogreising har en ingen opplysning om dybde eller omdanningsgrad. En av årsakene til at myr ikke er nyttbar til jord- eller skogbruk er at torvlaget er grunt og ligger direkte over fjell eller steinrik mineraljord. Den gjennomsnittlige dybden for denne kategorien må derfor antas å være mindre enn for myr egnet til dyrking eller skogproduksjon. Gjennomsnittsdybden for alt inventert myrareal i Norge kan estimeres til 1,96 meter på grunnlag av data fra Hovde (1983). For ikke nyttbar myr kan en anta at gjennomsnittsdybden er betydelig mindre. I beregningene har en valgt å bruke 1 m som gjennomsnittlig dybde og 0,85 kg/liter som gjennomsnittlig volumvekt, som er lik den antatte volumvekta for middels omdannet torv.

C-konsentrasjon i myr er avhengig av askeinnhold og andel C av organisk materiale. På grunnlag av tidligere undersøkelser (Grønlund et al. 2008) kan gjennomsnittlig C-innhold estimeres til 48,5 % basert på 5 % askeinnhold og 51 % C av organisk materiale.

5.3 Estimert karbonmengde

Den totale karbonmengde i myr og torvmark kartlagt i økonomisk kartverk er estimert til 829 millioner tonn C (tabell 14). Dette tallet omfatter også karbon i vegetasjonen i bunn-, felt- og busksjikt, som i myr vanligvis utgjør mindre enn 10 % av innholdet i jord. Karbonmengden i torvmark, som er skogdekt areal uten myrvegetasjon, er estimert til 58 millioner tonn C. Torvmark inngår også i karbonregnskapet for skogsjord. Estimert for karbon i myr kartlagt i økonomisk kartverk, eksklusiv torvmark, kan justeres til ca 770 millioner tonn.

Gjennomsnittlig innhold per dekar er estimert til 55 tonn C, som er noe mindre enn gjennomsnittsverdien for myr og våtmark på verdensbasis på 64 tonn C dekar⁻¹ (tabell 1). For grunn myr er den estimerte karbonmengden 32 tonn dekar⁻¹ som er noe mindre enn estimatene for grunn dyrket myr som er 37 og 45 tonn C dekar⁻¹ for henholdsvis 30-40 og 40-100 cm dyp torv. Den estimerte karbonmengden i djup myr er 88 tonn C dekar⁻¹, som er større enn estimatet for djup dyrket myr på 78 tonn. Forskjellene mellom dyrket og udyrket myr kan skyldes sammensynking av torvlaget og karbontap som følge av dyrking og drenering. Sammensynkingen fører til at djup myr etter hvert endres til grunn myr. Volumvekten øker og karbonkonsentrasjon blir derfor høyere i den øverste meteren av torvlaget. Karbontapet vil derfor først og fremst vise seg på myr som er fortsatt har et torvlag tykkere enn en meter. En stor del av grunn dyrket myr har tidligere vært djup myr. På grunn av høyere volumvekt vil den kunne ha høyere karboninnhold enn udyrket myr med samme torvtykkelse.

Det totale myrarealet i Norge antas å være mellom 18 800 og 21 700 km², det vil si ca 3 600 - 6 500 km² større enn det som er kartlagt for økonomisk kartverk. Myrareal som ikke er kartlagt i økonomisk kartverk ligger i hovedsak over skoggrensa og kan antas å være grunnere enn myr i lavlandet. Dersom en antar at myr utenfor dekningsområdet for økonomisk kartverk har samme gjennomsnittlige karboninnhold som grunn myr, det vil si 32 tonn C dekar⁻¹, kan karbonlageret estimeres til mellom 115 og 205 millioner tonn C. Det totale karbonlageret i udyrket myr og torvmark i Norge kan på dette grunnlag estimeres til mellom 943 og 1035 millioner tonn C, avrundet til ca en milliard tonn C. Det må presiseres at estimatene er beheftet med betydelig usikkerhet.

Karbonmengden i torvmark, som er skogdekt areal uten myrvegetasjon, og som inngår i karbonregnskapet for skog, er estimert til 58 millioner tonn C. Estimert for karbon i udyrket myr i Norge, eksklusiv torvmark, kan derfor justeres til ca 950 millioner tonn.

Tabell 14. Arealer og estimerte karbonmengder i hovedkategorier av myr og torvmark kartlagt i økonomisk kartverk.

	Areal km ²	Karbonmengde	
		Totalt, mill. tonn	Tonn per dekar
Totalt åpen myr og torvmark	15 206	829	55
Åpen myr	14 385	771	54
Egnet for dyrking	4 322	293	68
Grunn myr	1 548	49	32
Djup myr	2 773	245	88
Egnet for skogproduksjon	2 480	165	67
Grunn myr	806	25	31
Djup myr	1 674	140	84
Ikke egnet for dyrking eller skogproduksjon	7 583	312	41
Torvmark	821	58	71
Egnet for dyrking	477	36	75
Grunn myr	219	8	36
Djup myr	258	28	108
Egnet for skogproduksjon	344	22	64
Grunn myr	174	6	33
Djup myr	170	16	97

5.4 Klimagassflukser

Til tross for at myr utgjør et stort karbonlager, er det usikkert om det fortsatt foregår noen netto karbonbinding i myr i Norge. Ifølge et litteraturstudium av Saarnio et al. (2007) er den gjennomsnittlige karbonbindingen i naturlig myr i nordiske land 55 ± 190 g CO₂ m⁻² for minerotrof myr og -55 ± 230 g CO₂ m⁻² for ombrotrof myr. Dette innebærer at ombrotrof myr er netto utslippskilde for CO₂. Årlig metanemisjon er beregnet til $6,7 \pm 5,3$ og $17,3 \pm 13,3$ g CH₄ m⁻² fra henholdsvis ombrotrof og minerotrof myr (Saarnio et al. 2007). Utslipp av lystgass fra naturlig myr er generelt lavt på grunn av høyt C/N-forhold, og er oppgitt $<0,001$ g N₂O m⁻² for ombrotrof myr og $0,018 \pm 0,019$ g N₂O m⁻² for minerotrof myr (Maljanen et al. 2009). Disse tallene tyder på at naturlig myr er en netto kilde til klimagassutslipp. På grunnlag av de gjennomsnittlige fluksene for CO₂, CH₄ og N₂O kan gjennomsnittlig årlig netto klimagassutslipp grovt estimeres til 196 og 314 g CO₂-ekvivalenter m⁻² for henholdsvis ombrotrof og minerotrof myr.

5.5 Sårbarhet

Høy grunnvannstand og anaerobt miljø er en forutsetning for karbonlagring i myr. Drenering og senking av grunnvannsnivået vil endre mulighetene for karbonlagring drastisk. Alle menneskelige inngrep som medfører senking av grunnvannsnivået, representerer en trussel mot myrjordas evne til å lagre karbon. Slike inngrep kan være:

- Uttak av torv til veksttorv, anleggsjord, torvstrø eller energiformål, som fører til at den uttatte torva brytes ned til CO₂ i løpet av få år
- Nydyrking av myr som kan føre til sammensynking på 2 cm år⁻¹ og et karbontap på 0,8 tonn C dekar⁻¹ år⁻¹
- Grøfting av myr til skogreising eller skogproduksjon, som fører til et antatt mindre karbontap enn dyrking, og hvor en del av karbontapet kompenseres ved økt biomasseproduksjon som følge av dreneringen.
- Utbygging (bygninger, veier, vindmølleparker)

De tre førstnevnte inngrepene forutsetter at myra er egnet til det aktuelle formålet. Myr er generelt dårlig egnet som byggegrunn. Bruk av myr til utbygging er betinget av behov for utbyggingsarealer ut fra eksisterende infrastruktur, og i liten grad av torvas egenskaper. Denne typen inngrep antas imidlertid å utgjøre relativt små arealer. Sårbarheten for menneskelige inngrep kan antas å henge sammen med sannsynligheten for inngrep, som er betinget av egnethet for uttak av torv, nydyrking eller skogproduksjon. I tabell 15 har en gruppert myrareal i 4 klasser etter antatt sårbarhet for menneskelige inngrep.

Myr som ikke er egnet for dyrking, skogreising eller torvuttak må antas å være minst sårbar, og bare utsatt for utbygging. Denne kategorien utgjør et areal på ca 7500 km² innenfor dekningsområdet for økonomisk kartverk og mellom 3 600 og 6 500 km² utenfor dette området, til sammen 11 000 - 14 000 km², med et anslått karbonlager på 400 - 500 millioner tonn C.

Myr egnet for skogproduksjon utgjør ca 2800 km² og en estimert karbonmengde på 190 millioner tonn C. Drenering av myr til skogproduksjon vil føre til tap av karbon fra jorda, men trolig mindre enn fra dyrket myr som også blir kalket og gjødslet. Karbontapet fra jord kan i noen tilfeller bli kompensert av økt karbonbinding i skog. Undersøkelser i Finland tyder på at karbonbindingen i biomassen er større enn karbontapet fra jord på drenert minerotrof myr (Maljanen et al. 2009). For ombrotrof myr er resultatet mer usikkert på grunn av generelt mindre produksjon. Levetiden av karbon i biomasse avhenger sterkt av bruken av skogsvirket og er generelt kort sammenlignet med det som er langtidslagret jord. Drenering av myr vil føre til redusert metanutslipp med omtrent 50 % (Nykänen 1998) og en sterk økning i lystgassutslippet (Maljanen et al. 2009).

Myr egnet til dyrking utgjør et areal på ca 4800 km² og en estimert karbonmengde på ca 330 millioner tonn C. I mange områder langs kysten utgjør myr mesteparten av de dyrkbare reservene. Ved tradisjonell dyrking med røgrøfting eller profilering vil karbontapet være stort, trolig ca 0,8 tonn C dekar⁻¹ år⁻¹ de første årene. Dyrket myr er dessuten en betydelig kilde til lystgass. IPCC' standard utslippsfaktor er 1,25 kg N₂O dekar⁻¹ år⁻¹ som tilsvarer ca kg 400 CO₂-ekvivalenter. Selv om metanutslippet reduseres sterk som følge av dreneringen, vil nydyrking av myr føre til en netto utslippsøkning på mellom 1500 og 3000 kg CO₂-ekvivalenter dekar⁻¹ år⁻¹. Det er foreslått en endring i nydyrkingsforskriften som innebærer sterke restriksjoner mot dyrking av myr.

Uttak av torv må antas å være det inngrepet som fører til størst CO₂-tap per arealenhet. Djup myr med lite omdannet torv og nøysom vegetasjon er best egnet til veksttorv og må derfor antas å være mest sårbar. Denne kategorien utgjør et areal på nærmere 600 km² med et estimert karbonlager på ca 40 millioner tonn C.

Tabell 15. Arealer av ulike kategorier av myr, etter antatt sårbarhet for menneskelige inngrep.

Sårbarhets- klasse	Potensiell bruk	Karbonlager	
		Areal km ²	million tonn C
1	Bare utbyggingsformål	11 000-14 000	400-500
2	Skogproduksjon	2800	190
3	Dyrking	4800	330
4	Uttak av torv	600	40

6. Åpen fastmark

Åpen fastmark er en samlebetegnelse på ubebygde arealer som ikke er jordbruksareal, skog eller myr, og som dekker et areal på ca 143 000 km² eller ca 43 % av landarealet i Norge. Det aller meste av arealet ligger over skoggrensa. Denne klassen representerer stor variasjon i vegetasjonsdekke og karboninnhold. I arealressurskart AR50 er åpen snaumark delt inn i følgende klasser:

- Frisk vegetasjon. Dominans av engvegetasjon, friske risheier, frodige snøleie og starrike grasmyrer m.m.
- Sammenhengende vegetasjon, tørr til middels frisk, med dominans av heityper: risheier, fuktheier og røsslyngheier, i tillegg til noe grassnøleie og tørrgrashei samt rismyrer og skrinne grasmyrer.
- Lavdekt mark. Heiareal dominert av ulike lyse lavarter.
- Flekkvis og skrinne vegetasjon. Skrinne vegetasjon, f. eks. tørrgrasheier, lavfattige lavheier, skarpe risheier, mosesnøleie m.m., oftest med høyt innslag av impediment.
- Åpen uspesifisert fastmark. Ikke registrerte områder utenfor AR-fjell kartleggingen.
- Ikke vegetasjon, areal dominert av impediment, dvs. bart fjell, blokkmark m.m.

På grunn av lav temperatur og kort vekstsesong er primærproduksjonen liten i områdene over skoggrensa. Mengden av overjordisk biomasse er liten. Ei fullt utviklet lavmatte kan veie 1200 til 1500 tonn per dekar, som kan tilsvare 600-750 kg C (Kumpula et al. 2000). I andre vegetasjonstyper kan biomassen utgjøre mindre enn 200 kg per dekar. Nedbrytingen av organisk materiale hemmes imidlertid sterkere av lav temperatur enn det fotosyntesen gjør. Karboninnholdet i jorda er derfor mange ganger høyere enn i biomassen. Selv om karboninnholdet i jorda som regel er lavere enn i andre naturtyper, kan det totale karboninnholdet være betydelig på grunn av arealets størrelse.

Det finnes svært lite målinger av karboninnhold i mineraljord over skoggrensa i Norge. I en undersøkelse av karboninnholdet i grasmark langs en høydegradient i Sveits fant Leifeld et al. (2009) at karboninnhold i de øverste 30 cm varierte fra 5,3 til 11,6 tonn C dekar⁻¹. Lavest innhold ble påvist på den høyeste lokaliteten på 2200 m høyde, men for øvrig var det ingen korrelasjon mellom høyde og karboninnhold. Disse tallene er generelt lavere enn det som er påvist i skog i Norge. Basert på en egen undersøkelse av 9 jordprofiler på blåbær-bålynghei i 1000-1150 m høyde i Øystre Slidre (Grønland 1982), ble karboninnholdet beregnet til mellom 9 og 17 kg tonn C dekar⁻¹, med et gjennomsnitt på 13,3 tonn. Dette er nær identisk med gjennomsnittet for jord i produktiv skog i Norge (jfr. kap. 4.2). I mangel på bedre data kan tallene fra Øystre Slidre brukes som estimat for klassen "frisk vegetasjon" på djup jord. Siden denne vegetasjonsgruppen også kan forekomme på grunnere jord, kan intervallet for karboninnhold settes til 7-17 tonn C dekar⁻¹. For de øvrige vegetasjonsklassene kan en vente avtakende karboninnhold som vist i tabell 14. Klassen "ikke vegetasjon" må antas å innholde svært lite karbon, trolig mindre enn 2 tonn C dekar⁻¹. På grunnlag av arealer og skjønsmessige verdier for karboninnhold i de ulike vegetasjonsklassene i AR 50, har en anslått den totale karbonmengden i åpen fastmark til mellom 500 og 1500 millioner tonn C, med et middel på ca 1 milliard tonn (tabell 16). Dette estimatet er svært usikkert, men det antyder at karboninnholdet i åpen fastmark kan være av samme størrelsesorden som i myr. Karboninnholdet i biomasse er ikke kvantifisert, men antas å være betydelig lavere enn usikkerheten i anslagene for innholdet i jord.

Tabell 16. Arealer og anslått karbonmengde i ulike typer åpen fastmark (middelverdi i parentes)

	Areal km ²	C-innhold	
		Tonn dekar ⁻¹	Totalt, mill. tonn
Totalt	143 000	5-11	500-1500 (1000)
Frisk vegetasjon	38 196	7-17	270-650 (460)
Sammenhengende, middels frisk vegetasjon	38 434	5-12	190-460 (325)
Lavdekt mark	3 769	4-10	15-38 (25)
Flekkvis skrinne vegetasjon	35 069	2-8	70-280 (175)
Åpen uspesifisert fastmark	4 985	2-12	10-60 (35)
Ikke vegetasjon	22 547	0-2	0-45 (23)

Det foreligger ikke målinger av flukser av CO₂, CH₄ og N₂O på åpen snaumark i Norge. Men på grunn av liten fotosyntese og jordrespirasjon ventes fluksene å være lavere enn fra andre naturtyper i Norge.

Karboninnholdet i jord er utviklet i løpet av de siste ca 10 000 årene. Under ellers lik produksjon og nedbrytingshastighet av organisk materiale vil karbonbindingen være størst i den første tiden, da karboninnholdet var lavt. En enkel modellberegning viser at tiden det tar før det er oppnådd karbon-likevekt i jord øker med avtakende temperatur (Christophe Moni, personlig meddelelse). Sannsynligheten for fortsatt karbonbinding i jord kan derfor være større for fjellområder enn for andre naturtyper i Norge.

Mineraljord med permafrost forekommer stort sett bare i høyfjellet hvor karboninnholdet er svært lavt, og antas derfor ikke å være noen kilde for metanutslipp.

Åpen snaumark i fjellet blir generelt betraktet som sårbar for slitasje og andre menneskelige inngrep. Men selv om det kan ta lang tid for å reparere skader på vegetasjonen, må karbonpoolen i denne naturtypen likevel antas å være mindre sårbar på grunn av lav temperatur og langsom nedbryting av organisk materiale. Skader på vegetasjonen kan imidlertid bidra til økt erosjon som kan føre til flytting av organisk materiale til områder med høyere temperatur hvor det kan bli raskere nedbrutt til CO₂ og metan.

7. Semi-naturlig mark

Semi-naturlig mark kan defineres som en naturtype som er påvirket, men ikke skapt av menneskelig aktivitet og som ved opphør av påvirkning går i retning av naturlig vegetasjon (Miljøstatus i Norge). Påvirkningen kan være hogst, rydding, brenning, slått, beiting og lauving. Vegetasjonen på semi-naturlig mark består av naturlig viltvoksende arter som er tilpasset den menneskelige aktiviteten. Semi-naturlig mark kan være åpen eller ha et busk- og/eller tresjikt. Utformingene er mange: Høstingsskog, åpen beitemark, hagemark, beiteskog, strandenger, sanddyner som brukes til beite eller slått, kystlynghei, åpen slåttemark, lauveng, flommark brukt til beite eller slått, slåtte- og beitemyr samt reinbeite (Norderhaug et al. 1999). Slått og beite holder landskapet åpent og skaper en engpreget vegetasjon med eller uten busker og trær. Naturlig forekomst av åpen engvegetasjon er sjelden nedenfor den alpine tregrensen. Slik engvegetasjon er derfor stort sett menneskeskapt. Gammel, semi-naturlig slåttemark og beitemark er blant de mest artsrike naturtypene i Norge og inneholder flere vernede og utrydningstruede arter. Gjennom sitt artsmangfold representerer de også in-situ-bevaring av genressurser som det kan bli behov for i framtiden bl.a. i sammenheng med klimaendringer (Svalheim et al. 2005).

Flerårige grasarter bidrar til å opprettholde eller øke karboninnholdet i jorda. Grasarter kan ha stort rotsystem som kan gi større C-tilførslene enn trær, til tross for de høyere mengdene med biomasse som trær produserer og treets større motstandsdyktighet mot nedbryting (Bashkin & Binkley 1998). På grunn av raskere årlig omsetning av skuddmateriale og endringer i artssammensetning, kan beiting resultere i høyere C-innhold i jorda sammenlignet med eng som ikke beites (Soussana et al., 2004). Vi har ikke data i Norge som viser om det fortsatt skjer noen karbonbinding i langvarig eller permanent eng og beite. Det er stor usikkerhet i om karboninnholdet i jord øker i grasmark eller om det er likevekt mellom tilførsel og nedbryting av organisk materiale. Ei grasmark med 20 tonn karbon dekar⁻¹ har hatt en gjennomsnittlig karbonbinding etter istiden på ca 2 kg C dekar⁻¹ år⁻¹. Resultater fra markinventering i Sverige kan tyde på en årlig karbonbinding i jord i beitemark på 2-7 kg per dekar (Jordbruksverket 2008).

Det er antatt å være et stort potensial globalt for økt karbonlagring i grasmark gjennom bedre dyringspraksis og rehabilitering av forringet grasmark (Neely et al. 2009, Conant 2010). Økt karbonlagring vil også forbedre jordkvaliteten og gjøre jorda mindre sårbar for klimaendringer. Forutsetningen for karbonlagringspotensialet er at jorda har redusert karboninnhold og kvalitet som følge av overbeiting, forsøtning og forsuring, og at forbedret praksis vil bringe karboninnholdet tilbake til naturlig nivå. De globale anslagene for karbonbinding i grasmark har neppe overføringsverdi til norske forhold. Vi har ingen indikasjoner på at karboninnholdet i gammel grasmark er lavere enn i naturlig tilstand. Overbeiting er heller ikke noe problem i Norge når en ser bort fra enkelte reindriftsområder. Eventuelt redusert karbonbinding ved forringelse av grasmark på grunn av gjengroing kan imidlertid være en aktuell problemstilling også i Norge.

Ved opphør av slått eller beite vil arealet gro igjen og nærme seg den naturlige vegetasjonstypen. Eksempler på sammenhengen mellom naturlig og semi-naturlig vegetasjon som følge av hogst, rydding, brenning, slått, beiting, lauving går fram av tabell 17.

Karbonbinding i jord antas å være større i beitemark enn i skog. Opphør av beite eller slått og gjengroing til skog kan derfor føre til redusert karbonbinding i jorda. Men denne reduksjonen er neppe særlig stor. For det første må karbonbindingen i jord antas å være moderat under nordiske forhold, trolig mindre enn 10 kg C dekar⁻¹ år⁻¹. For det andre viser modellberegninger at det skjer en ikke ubetydelig karbonbinding i skogsjord (jfr. kap. 4.3).

Semi-naturlig mark som brukes til slått eller beite vil bidra til utslipp av metan når graset konsumeres av husdyr. Som vist i kap. 4.2 vil ca 6-7 % av karbonet i graset omdannes til metan ved fordøyelsen hos drøvtyggere. Opphør av beite eller slått vil naturlig nok redusere dette metanutslippet.

Tabell 17. Eksempler på sammenheng mellom naturlig og tilhørende semi-naturlig vegetasjon (Moen 1998).

Naturlig vegetasjon:	Semi-naturlig vegetasjon:
Heiserie: Lavskog Bærlyngskog, blåbærskog Røsslyng-blokkebærskog Kalklågurtskog Små, storbregneskog Fattig sumpskog Tørr lågurtskog Engserie: Edelløvskog med alm, ask, lind og hassel Gråor, hegg, svartorskog Høgstaudeskog Rik sumpskog Myrserie: Fattigmyr Mellomrik myr Rik, ekstremrikmyr	Heiserie: Røsslynghei Skrinn magereng, finnskjeggrye Fattig fukthei, røsslyngfukthei Kalkhei Engserie: Magereng, finnskjeggeng Vekselfuktig fattigeng, blåtoppeng Lågurteng Rikeng Rik fukteng Rik friskmarkseng Rik fukteng Myrserie: Slåtte/beiteprega fattigmyr Slåtte/beiteprega mellomrik myr Slåtte/beiteprega rikmyr

Gjengroing til skog vil føre til økt karbonbinding i skogsbiomassen. En gjennomsnittlig tilvekst på 0,3 m³ stammevirke dekar⁻¹ gir en karbonbinding på nærmere 200 kg C, som er flere ganger større enn de mest optimistiske anslagene for karbonbinding i grasmark. Selv om jord betraktes som et mer stabilt karbonlager enn biomasse, er det all grunn til å tro at gjengroing til skog gir økt totalt karbonbinding i et 100 års perspektiv. Skog har imidlertid lavere albedo som kan motvirke klimaeffekten av karbonbindingen i biomasse (Betts, 2000). Det er derfor usikkert om gjengroing av semi-naturlig mark bidrar til redusert oppvarming. Men dersom tilveksten av skogen er stor, er sannsynligheten for at redusert albedo skal føre til netto oppvarming mindre enn tilfellet er for fjellskogen, hvor tilveksten er liten (jfr. kap. 4.3.).

Siden så store deler av naturen i Norge har vært utnyttet til tradisjonell jordbruksdrift helt fram til 1900-tallet, er det ikke bare åpne engarealer som nå gjennomgår gjengroingsprosesser, men også betydelige arealer av andre naturtyper. Mange av myrene gjennomgår suksesjonsprosesser og arealet av rikmyr har avtatt, mens arealet ombrotrof myr har økt. Hastigheten på disse suksesjonsprosessene er forskjellig i ulike deler av landet (Fremstad 1997). Kystlyngheia, som tidligere dekket ca. 2 % av landarealet, gror igjen når den tradisjonelle driften opphører og strandenger erstattes av takrør. Også ovenfor tregrensen er engvegetasjonen ofte kulturpåvirket og gror igjen med einer, dvergbjørk eller vier på grunn av sterk tilbakegang av seterbruket og utmarksbeitet. Opphør av bruk fører også til at tresatte kulturmarker som hagemark og beiteskog fortettes, at lauvtrær ofte erstattes av bartrær og at engvegetasjonen i feltsjiktet går tilbake. Også de store, gamle lauvtrærne i høstingsskogene erstattes ofte av bartrær. Kunnskapen om hvordan alle disse prosessene påvirker karbonbinding og klima er foreløpig liten.

8. Kunnskapsbehov

Vi har svært mangelfulle data om karbonlagring i åpen fastmark og klimagassflukser fra terrestriske økosystemer generelt. På grunn av stor variasjon i rom og tid vil det være svært kostbart å framskaffe representative estimater for klimagassbalanse i ulike norske naturtyper. Forslaget til kunnskapsbehov må gjenspeile kunnskapsmangel, relevans og kostnader til å framskaffe kunnskapen.

8.1 Jordbruksareal

Det finnes estimater av karbonlageret i jordbruksjord, men disse gjenspeiler i liten grad forskjeller mellom ulike dyrkingssystemer. Kunnskapsbehovet er spesielt knyttet til:

- Karbonlagring i grasmark, forskjeller mellom semi-naturlig eng, langvarig gras, gras i rotasjon med åker og ensidig åkerdyrking
- Lystgass fra jord (myr og mineraljord), betydning av driftsform og drenering
- CO₂ tap fra myr, betydning av torvegenskaper, klima, driftsform og alder etter dyrking
- Effekt av karbonlagring og CO₂-utslipp av ulike typer biomasse, avfall og biokull

8.2 Skog

Skog er den naturtypen hvor kunnskapen om karbonlager og karbonbinding er størst. Dette gjelder spesielt for stående biomasse, som har vært gjenstand for systematiske takseringer siden 1919. Usikkerheten antas å være større for karbonlagring i skogsjord. Størst kunnskapsbehov er knyttet til:

- Karbondynamikk i gammel skog
- Endringer i karbonlageret i skogsjord, hvor nåværende metode (Yasso-modellen) må anses som relativt usikker
- Klimaeffekten av redusert albedo - forholdet mellom albedo og stående masse for bar- og lauvskog, minimum karbonbinding for å kompensere for albedo-effekten

8.3 Myr

Markslagsklassifikasjonene i økonomisk kartverk gir informasjon om dybdeklasser og omdanningsgrad for myr som er egnet til dyrking eller skogproduksjon, og er et godt grunnlag for å beregne karbonlageret. Vi har få undersøkelser av klimagassbalanse fra myr i Norge, men på grunn av stor variasjon i rom og tid er det svært kostbart å framskaffe representative estimater for ulike myrtyper. Gjennom internasjonale nettverk som f. eks. ICOS (International Carbon Observation System) kan Norge bidra med lagtidsovervåking av klimagassflukser fra kystmyr, som er en myrtype med stor utbredelse i Norge.

8.4 Åpen fastmark

Åpen fastmark er den naturtypen hvor vi har minst kunnskap om karbonlagring og Klimagassflukser. Det er spesielt behov for:

- Kartlegging av karbonmengde i ulike vegetasjonstyper
- Estimater for gassflukser fra de mest karbonrike vegetasjonstypene

8.5 Semi-naturlig mark

Semi-naturlig mark kan omfatte alt areal som er påvirket av menneskelig aktivitet, men som ikke er fulldyrket eller sterkt gjødslet. I forbindelse med karbonlagring er det knyttet størst interesse til semi-naturlig engvegetasjon under skoggrensa som regnes som en del av kulturlandskapet og som vil gro igjen til skog dersom slått eller beiting opphører. Siden større deler av skog, myr og åpen fastmark også har vært og fortsatt delvis er semi-naturlige, er det også av stor interesse å se nærmere på hvordan suksesjonsprosessene i disse arealkategoriene påvirker karbonbindingen. Størst kunnskapsbehov er knyttet til:

- Arealberegning av semi-naturlig mark i Norge
- Karbonmengde i jord på semi-naturlig mark
- Endringer i jordas karboninnhold etter opphør av bruk og gjengroing av ulike naturtyper
- Karbonlagring over tid i ulike typer permanent semi-naturlig grasmark (med og uten busk- og tresjikt) sammenlignet med skog (som avvirkes når den er hogstmoden)

9. Konklusjon

Estimerte karbonmengder i de fire naturtypene som inngår i dette studiet er vist i tabell 18. Semi-naturlig mark er ikke oppført som egen arealgruppe, men kan inngå i jordbruksareal, skog, myr og åpen fastmark. Den totale karbonmengden i terrestriske naturtyper er estimert til i overkant av 4 milliarder tonn C, som tilsvarer ca 15 milliarder tonn CO₂, hvorav ca 11 % i vegetasjon og 89 % i jord.

Tabell 18. Estimert karbonmengde i naturtyper i Norge.

	Areal, km ²	Millioner tonn C			Tonn C/dekar		
		Vege- tasjon *	Jord	Totalt	Vege- tasjon*	Jord	Totalt
Totalt	299 000	455	3 700	4 155			13,9
Jordbruksareal	11 000	5	200	205	0,4	18,3	18,6
Skog	125 000	450	1 550	2 000	3,6	12,4	16,4
Myr (ekskl. torvmark)	20 000		950	950			47,5
Åpen fastmark	143 000		1 000	1 000			7,0

*Omfatter også død vegetasjon i skog

Skog er den naturtypen som har det største karbonlageret, både i biomasse og jord, med et estimert totalinnhold på ca 2 milliarder tonn C. Skog er også den naturtypen som har størst økning i karboninnhold med en årlig tilvekst på ca 8,5 millioner tonn C i vegetasjon (levende og død) og ca 1 million tonn C i jord. Sterk hogst og oppdyrking er de største truslene mot karbonlaget i skog.

Karbonlageret i myr er beregnet 950 millioner tonn C. Myr er uten sammenligning den naturtypen som inneholder størst karbonmengde per arealenhet, ca 3 ganger så mye som skog og jordbruksareal. Det er likevel usikkert om det fortsatt skjer noen økning i karboninnholdet i naturlig myr. Karbonlageret i myr er betinget av høyt vanninnhold og må derfor antas å være svært sårbar for menneskelige inngrep som innebærer senking av grunnvannstanden.

Åpen fastmark antas å ha et karbonlager på i størrelsesorden 1 millioner tonn C, og antas også å være den naturtypen hvor det skjer minst endringer i karboninnhold. Karbonmengden kan være svakt økende på grunn lav temperatur og lengre tidsrom før det innstilles karbonlikevekt i jord.

Estimatene for myr og spesielt for åpen fastmark er beheftet med større usikkerhet enn de andre naturtypene. Forskjellen i estimert karbonmengde mellom myr og åpen fastmark antas å være mindre enn usikkerheten i estimatene.

På grunn av lite areal har dyrket jord betydelig lavere karbonlager enn de tre andre naturtypene, ca 200 millioner tonn C. Det er estimert et årlig karbontap dyrket jord, fra ensidig åkerdyrking og dyrket myr, på til sammen ca 0,5 millioner tonn C, og det er ikke sannsynlig at en eventuell netto karbonbinding i grasmark på mineraljord er stor nok til å kompensere for dette tapet.

10. Referanser

- Bashkin M. A. & D. Binkley (1998). Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology*, 79:609-833.
- Betts, R. (2000). Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. *Nature* 408, 187-90.
- Bonesmo, H. & O. Seljemo (2008). Karbon I norsk plante- og husdyrproduksjon. Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning. ISBN 978-82-7077-731-0. 22 s.
- Bryn, A. (2008). Recent forest limit changes in south-east Norway: Effects of climate change or regrowth after abandoned utilization? *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 62: 251-270.
- Bryn, A. & M. Debella-Gilo (2008). GIS-based prognosis of potential forest regeneration affecting the Norwegian tourism landscape.
- Bryn, A., W. Dramstad, W. Fjellstad, & F. Hofmeister (2010). 'Rule-based GISmodelling for management purposes: A case study from the islands of Froan, Sør-Trøndelag, mid-western Norway'. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 64: 175 – 184.
- Conant, R. T. (2010). Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems. A technical report on grassland management and climate change mitigation. FAO Roma 2010. ISBN 978-92-5-106494-8. 57 s.
- de Wit, H. A., & S. Kvindesland (1999). Carbon stocks in Norwegian forest soils and effects of forest management on carbon storage. *Rapport fra skogforskningen, Supplement 14*: 1-52.
- de Wit, H.A., T. Palosuo, G.Hylen, & J. Liski (2006). A carbon budget of forest biomass and soils in southeast Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management*, 225 (1-3): 15-16.
- FAO (2004). Global Forest Resources Assessment Update 2005- Terms and Definitions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Department, Forest Resource Assessment Programme. Working Paper 83/E, Rome 2004.
- Fremstad, E. (1997). Vegetasjonstyper I Norge. NINA Temahefte 12: 1-279.
- Grønlund, A. (1982). Jordsmonnundersøkelser i Øystre Slidre. Endringer i jordsmonnet som følge av dyrking. NLFV's forskningsprosjekt "Produksjonsgrunnlaget i fjelltrakter". Jordregisteringstituttet. 32 s.
- Grønlund, A. (2010). Omlegging fra åker til gras på bakkeplanert jord. Karbonlagring og klimagassutslipp. *Bioforsk Rapport nr. 78 Vol. 5*, ISBN 978-82-17-00656-5, 32 s.
- Grønlund, A., Hauge, A., Hovde A. & D. Rasse (2008). Carbon loss for cultivated peat soils in Norway: a comparison of three different methods. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 81: 157-167.
- Grønlund, A., K. Knoth de Zarruk, D. Rasse, H. Riley, O. Klakegg, & I. Nystuen (2008). Kunnskapsstatus for utslipp og binding av karbon i jordbruksjord. *Bioforsk rapport nr 132, vol. 3*. ISBN 978-82-17-00426-4. 47 s.
- IPCC (2000). *Land Use, Land Use Change and Forestry* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 181-292.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. (J. Penman et al., eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan. ISBN 4-88788-003-0.
- Janssens, I.A., A. Freibauer, B. Schlamadinger, R. Ceulemans, P. Ciais, A. J.Dolman, M. Heimann, G.-J. Nabuurs, P. Smith, R. Valentini & E.-D. Schulze (2005). The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale-a European case study. *Biogeosciences* 2:15-26.
- Jordbruksverket (2008). Minska jordbrukets klimatpåverkan! Del 1. Introduktion av några åtgärder/styrmedel. *Rapport 2008:11*. ISSN 1102-3007. 104 s.

- Klima- og forurensningsdirektoratet (2010). Klimakur 2020. Sektorrapport skogbruk. Tiltak og virkemidler for økt opptak av klimagasser fra skogbruk. <http://www.klif.no/publikasjoner/2596/ta2596.pdf>. 59 s.
- Kumpula, J., A. Colpaert & M. Nieminen (2000). Condition, potential recovery rate, and production of lichens (*Cladonia* spp.) in Finnish reindeer management area. *Arctic* 53: 152-60.
- Lal, R. (2005). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, Vol 304, 1623-1627.
- Leifeld, J., M. Zimmermann, J. Furer, & F. Conen (2009). Storage and turnover of carbon in grassland soils along an elevation gradient in the Swiss Alps. *Global Change Biology* (2009) 15, 668-679.
- Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M. & R. Sievänen (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soil. *Ecol. Modell.* 189, 168-182
- Kjønaas, J. (2003). Klima - skog: Hvorfor er jorda så viktig? Aktuelt fra skogforskningen. 6/03, 4-8.
- Klima- og forurensningsdirektoratet (2010). Klimakur 2020. Sektorrapport skogbruk. Tiltak og virkemidler for økt opptak av klimagasser fra skogbruk. 59 s.
- Maljanen, M., B. D. Sigurdsson, J. Gudmundsson, H. Oskarsson, J. H. Huttunen & P. J. Martikainen (2009). Land-use and greenhouse gas balances of peatlands in the Nordic countries - present knowledge and gaps. *Biogeosciences Discussions*, 6, 6272-6338.
- Marklund, L.G., (1988) Biomassefunksjoner for tall, gran og bjørk i Sverige. Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden. Institusjonen for skogtaxering. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport 45, 1-73.
- Moen, A. (1998). Endringer i vårt varierte kulturlandskap. S.18-33 i: Framstad, E. & Lid, I.B. (red.) *Jordbrukets kulturlandskap. Forvaltning av miljøverdier*. Universitetsforlaget, Oslo.
- Neely, C., S. Bunning, & A. Wilkes (2009). Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change. Implications and opportunities for mitigation and adaptation. FAO Roma 2009. ISBN 978-92-5-106413-9. 38 s.
- Nilsen, P. & H. de Wit (2001). Binding og frigjøring av karbon i skog - virkning av ulike skogbehandlingstiltak. Aktuelt fra skogforskningen. 6/01, 47-49.
- Njøs, A. (1973). Strukturproblemer på myrjord. Meddelelser fra Det norske myrselskap, nr 5. Særtrykk nr 127, 16 s.
- Norderhaug, A., I. Austad, L. Hauge & M. Kvamme (red.) (1999). *Skjøtselsboka for kulturlandskap og gamle norske kulturmarker*. Landbruksforlaget, Oslo.
- Saarnio, S., M. Morero, N. J. Shurpali, E. S. Tuittila, M. Mäkilä, & J. Alm (2007). Annual CO₂ and CH₄ fluxes of pristine boreal mires as a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal Environ. Res.* 12, 101-113.
- Smith, P. (2004). Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy* 20:229-236.
- Stortingsmelding nr 39, (2008-2009). Klimautfordringene - landbruket en del av løsningen. Det kongelige landbruks- og matdepartementet. 175 s.
- Petersson, H. & G. Ståhl (2006). Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Volume 21, Supplement 7, pp. 84-93(10)
- Soussana, J-F., P. Loiseau, N. Vuichard, E. Ceschia, J. Balesdent, T. Chevallier, T. & D. Arrouays (2004). Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management* 20:219-230.
- Svalheim, E., Å. Asdal, L. Hauge, P. Marum & J. Ueland (2005). Bevaring av genressurser. Fôrplanter i gamle enger og beiter. Norsk genressurscenter.
- Tomter, S., G. Hysten, & J.E. Nilsen (2010). Norway. In: Tomppo, E.; Gschwantner, Th.; Lawrence, M.; McRoberts, R.E. (eds.) 2010. *National Forest Inventories, Pathways for Common Reporting*. Springer. ISBN: 978-90-481-3232-4.