



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Restaurering av myr

Potensialet for karbonlagring og reduksjon av klimagassutslipp

NIBIO RAPPORT | VOL. 2 | NR. 113 | 2016



Simon Weldon, Frans-Jan W. Parmentier, Arne Grønlund og Hanna Silvennoinen
Divisjon for miljø og naturressurser Jordkvalitet og klima

TITTEL/TITLE

Restaurering av myr. Potensialet for karbonlagring og reduksjon av klimagassutslipp

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Simon Weldon, Frans-Jan W. Parmentier, Arne Grønlund and Hanna Silvennoinen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
02.11.2016	2/113/2016	Åpen	10455	2016/1936
ISBN:	ISSN:	Rapport nr Miljødirektoratet:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01713-4	2464-1162	M628-2016	28	1

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Miljødirektoratet

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Maria Malene Kvalevåg

STIKKORD/KEYWORDS:

Myr, Karbonbinding, Drivhusgass, Restaurering

Peatland, Carbon storage, GHG, Restoration

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Restaurering av myr

Peatland restoration

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Sammendrag

I denne rapporten har vi undersøkt i hvilken grad restaurering av myr kan bidra til ny karbonlagring og samtidig reduserte klimagassutslipp. Et litteraturstudium viser at drenert myr er en langt større kilde til CO₂-utslipp enn både naturlig og restaurert myr. Årsaken til den høye CO₂-emisjonen i drenert myr er lavere grunnvannstand, tilgang på oksygen og økt jordrespirasjon. Høy grunnvannstand i naturlig og restaurert myr motvirker jordrespirasjonen og bidrar til lagring av karbon i jorda. Restaurering av myr vil derfor som regel redusere karbontapet, og kan, avhengig av forholdene på stedet, gjenskepe området til et karbonsluk.

Summary

In this report, we investigated whether the rewetting of peatlands can restore the carbon sink function of these ecosystems, and simultaneously reduce greenhouse gas emissions. From our literature analysis, it is clear that drained peatlands are a much larger source of CO₂ than both pristine or rewetted peatlands. The high CO₂ emission in drained peatlands is caused by the lowering of the water table, which exposes soil carbon to oxygen, and raises soil respiration. The high water tables in pristine and rewetted peatlands suppress respiration, keeping carbon in the ground. In general, therefore, the rewetting of peatlands reduces carbon losses, and – depending on site-specific conditions – may even restore the site to a net carbon sink.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Akershus
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Ås Kommune
STED/LOKALITET: Ås

GODKJENT /APPROVED

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



ØISTEIN VETHE

SIMON WELDON



Innhold

1	Sammendrag	5
2	Innledning	6
3	Karbon- og klimagassbalansen i myr.....	8
3.1	Motsetninger mellom klimagassflukser	8
3.2	CO ₂ -flukser i myr.....	8
3.3	CH ₄ -utslipp fra myr	11
4	Metoder for meta-analyser.....	13
4.1	Inndeling i klimasoner	13
4.2	Omfanget av meta-analyser	13
4.3	Bruk av verdier fra litteraturen.....	14
5	Resultater.....	15
5.1	Temperert vs boreal	15
5.2	Naturlig myr.....	15
5.2.1	Karbondynamikk i naturlig myr	15
5.2.2	Globalt oppvarmingspotensial i naturlig myr.....	15
5.3	Drenert myr	15
5.3.1	Karbondynamikk i drenert myr	15
5.3.2	Globalt oppvarmingspotensial i drenert myr	16
5.4	Restaurert myr.....	16
5.4.1	Karbonbalanse i restaurert myr	16
5.4.2	Globalt oppvarmingspotensial i restaurert myr	17
6	Diskusjon	19
6.1	Potensial for karbonlagring og klimagassreduksjon ved restaurering	19
6.2	Betydning av plantesamfunn.....	19
6.3	Begrensninger i estimatene.....	20
	Referanser.....	22
	Appendix.....	29

1 Sammendrag

I denne rapporten har vi undersøkt i hvilken grad restaurering av myr kan bidra til ny karbonlagring og samtidig reduserte klimagassutslipp. Et litteraturstudium viser at drenert myr er en langt større kilde til CO₂-utslipp enn både naturlig og restaurert myr. Årsaken til den høye CO₂-emisjonen i drenert myr er lavere grunnvannstand, tilgang på oksygen og økt jordrespirasjon. Høy grunnvannstand i naturlig og restaurert myr motvirker jordrespirasjonen og bidrar til lagring av karbon i jorda. Restaurering av myr vil derfor som regel redusere karbontapet, og kan, avhengig av forholdene på stedet, gjenskape området til et karbonsluk.

Når det gjelder klimagassutslipp er bildet mer komplisert. Myr slipper ut den mer potente klimagassen CH₄ (metan), som kan motvirke effekten av karbonopptak på kort sikt. Restaurert myr kan også bli en større kilde til CH₄ enn naturlig myr, siden vegetasjonen og næringsstatusen ofte er forskjellig fra naturlig myr, og vannfylte grøfter kan være hotspot for CH₄-utslipp. Netto globalt oppvarmingspotensial for myr er imidlertid også avhengig av hvilken tidsskala man vurderer, siden CH₄ har kort levetid i atmosfæren. Den reelle påvirkningen av myr på den globale oppvarmingen er derfor svært sammensatt. Problemstillingen er enklere for drenert myr, siden CO₂-emisjonen gjør den til en betydelig kilde til klimagassutslipp.

Mangel på observasjoner i den boreale regionen skaper utfordringer for restaureringsprosjekter i nord. Den generelle dynamikken i myr er kjent, men hvordan nordiske myrer spesifikt reagerer på menneskelige forstyrrelser og restaurering er lite undersøkt. Mange studier viser at det er en fin balanse mellom sluk og kilde som følge av kort vekstsesong og redusert næringstilgang (nutrient deposition). Dette fører til usikkerhet om utfordringene ved restaurering av myr i den boreale regionen. På grunn av stor variasjon i dyrkingshistorie, vegetasjonssammensetning, næringsstatus, hydrologi og geomorfologi på myr, er resultatene svært varierende når det gjelder balansen mellom CO₂ og CH₄. For en bestemt myr er det derfor ikke mulig å vite på forhånd om et restaureringsprosjekt vil bli vellykket både når det gjelder karbonlagring og reduksjon av klimagassutslipp. Vi vil derfor anbefale at restaureringsprosjekter følges opp med langtidsovervåking av klimagassutslipp og karbonbalanse, inklusiv laterale flukser, for å vurdere resultatet av restaureringen.

Når en betrakter alle resultatene i vår metaanalyse, synes det klart at det globale oppvarmingspotensialet er større på drenert myr enn på både naturlig og restaurert myr. Restaurering av myr fører i gjennomsnitt til en klar reduksjon av klimagassutslipp. Det synes også klart at drenering av naturlig myr vil øke utslippene. Fra et politisk perspektiv kan derfor vern og restaurering av myr bidra til en gunstig klimaeffekt, selv om dette er vanskelig å kvantifisere som følge av knapphet på observasjoner. Vi vil presisere at økt karbonlagring og potensial for reetablering av sårbare myrøkosystemer i seg selv er viktige miljømål. Drenering er et sterkt inngrep i myr som økosystem, og restaurering har stort potensial til å dempe denne ubalansen. I kombinasjon med en målrettet overvåking for å vurdere utviklingen, kan en slik politikk realiseres effektivt.

2 Innledning

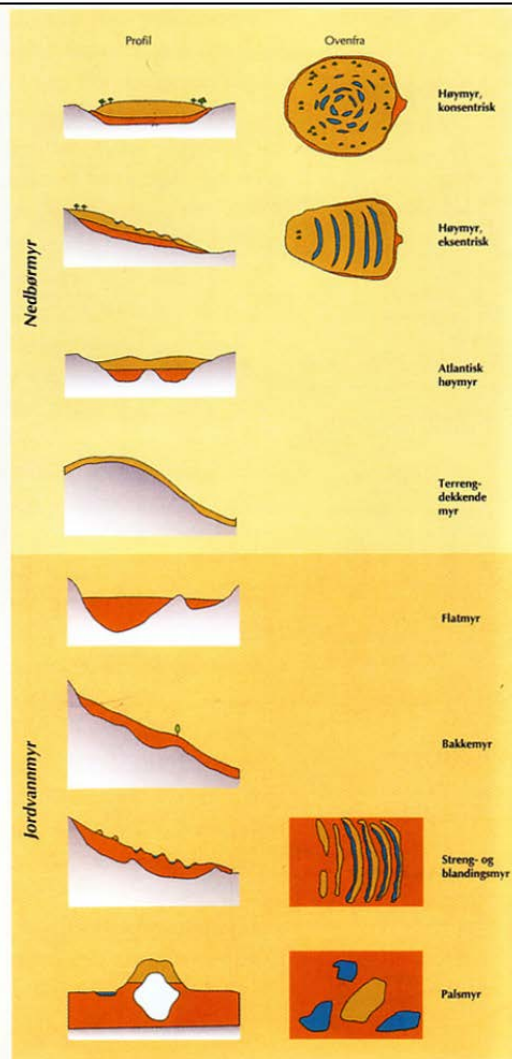
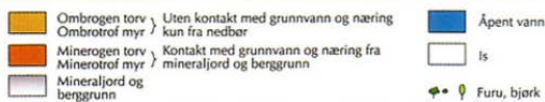
Naturlig myr har et høyt vannivå som fører til redusert nedbryting av dødt plantemateriale. I løpet av de siste tusener av år har derfor disse økosystemene bygd opp enorme lager av karbon i jorda (Gorham et al. 1991). Til tross for at boreal og subarktisk myr bare dekker ca. 3 prosent av landoverflata, lagrer disse områdene mellom 270 og 370 gigatonn karbon (Gt C) i jorda (Turunen et al. 2002), noe som utgjør om lag 35 til 50 prosent av den nåværende CO₂-mengden i atmosfæren. Dette karbonet kan bli frigjort til atmosfæren i form av klimagasser når jorda blir drenert og vannivået senket. Restaurering av tidligere drenert myr som ikke lenger er i drift, kan derfor bli et godt tiltak for å bevare karbonet i jorda og redusere utslipp av klimagasser. For å kunne forstå effekten av restaurering, er det imidlertid viktig å ha kunnskap om hva som er drivkreftene bak karbonlagring og klimagassflukser i disse økosystemene.

Hydrologi er svært viktig for stabiliteten av myr. To hovedtyper av myr er definert på grunnlag av vannkilde: nedbørsmyr og jordvannsmyr, som vist i figur 1. Innen disse to hovedgruppene er det store variasjoner som følge av lokal geomorfologi, næringstilgang og vegetasjonssammensetning. På grunn av denne variasjonen må en også forvente stor variasjon i respons på endringer i hydrologi.

I nordområdene har drenering av myr vært vanlig praksis i lang tid, spesielt i forbindelse med dyrking, skogbruk og uttak av torv (Regina et al. 2015). Siden jordvannsmyr finnes på lokaliteter hvor grunnvannet samles, kan drenering være vanskelig. Det kan derfor være nødvendig å pumpe vannet bort fra området. Nedbørsmyr ligger derimot høyt i landskapet i forhold til grunnvannet. Dette gjelder spesielt høymyr hvor overflata kan ligge flere meter høyere enn terrenget omkring. På slike arealer kan passiv drenering ved graving av grøfter være tilstrekkelig for å senke vannstanden. Dette innebærer også at når en drenert nedbørsmyr blir tatt ut av drift, kan vannstanden fortsatt forbli lav og påvirke økosystemet og vegetasjonen. I tillegg til påvirkningen på vegetasjonssammensetningen vil lavere grunnvannstand føre til bedre lufttilgang til jorda, og dermed raskere nedbryting av det organiske materialet, slik at karbonet kan frigis i form av CO₂ til atmosfæren. Etter at ei drenert nedbørsmyr er tatt ut av drift, vil det være god praksis å blokkere grøftene for å heve vannstanden, og restaurere området til naturlig våt tilstand. Det er imidlertid stor usikkerhet om hvilke effekter et slikt tiltak vil ha for karbonlagring og reduksjon av klimagassutslipp. Restaurering kan reversere karbontap, men samtidig øke utslippet av den potente klimagassen CH₄ (metan). I denne rapporten vil vi derfor undersøke den nåværende kunnskapsstatusen om restaurering av myr i form av karbonlagring og reduserte utslipp av klimagasser.

HOVEDTYPER AV MYR

Figuren viser skjematisk noen hovedtyper av myr. I venstre kolonne er det vist en profil tvers gjennom myra (høydeskalaen er sterkt overdrevet), og til høyre er viktige overflatestrukturer vist. Høymyr er tydelig hvelvet (konveks) nedbøymyr, med en kuppel bygd opp av torv, og med helling ned mot de jordvannpåvirkede (minerotrofe) delene som vanligvis dekker små områder (lagg) og som fungerer som dreneringssystem. Det finnes mange typer. Konsentrisk høymyr er symmetrisk oppbygd og finnes hovedsakelig på sørlige del av Østlandet; eksentrisk høymyr har det høyeste punktet nær den ene kanten og finnes i lavlandet på Østlandet og i Midt-Norge; atlantisk høymyr har gjerne flere kupler i et myrlandskap der det er vanskelig å sette grenser mot andre myrtyper. Terrengdekkende myr er dominert av nedbøymyr som dekker landskapet som et teppe. Myrene er dannet ved forsumpning og dekker platåer og skråninger i hellende terreng. Denne typen finnes i de mest nedbørrike områdene fra Rogaland til Troms. Flatmyr er jordvannmyr i flatt terreng, gjerne i tilknytning til et gjenvoksende tjern. Typen finnes overalt der det kan dannes myr. Bakkemyr er jordvannmyr i hellende terreng (over 3°). Finnes fra mellomboreal sone og oppover i fjellet. De bratte bakkemyrene (med helling på mer enn 15°) finnes bare i de mest nedbørrike delene av landet. Strengmyr har regelmessig veksling mellom lange, smale forhøyninger (strenger) som virker demmende, og våte, flate partier (flarker); disse strukturene ligger på tvers av myras hellingsretning. Strengmyrtypene er vanligst i de østlige og nordlige deler av Norge, der de kan dekke store arealer. Palsmyr er en veksling mellom flat jordvannmyr som vanligvis er våt, og torvhauger (palser) som har en kjerne av frossen torv og is som holder seg frosset gjennom hele sommeren.



Figur 1. Skjematisk framstilling av myrtyper (Moen 1998)

3 Karbon- og klimagassbalansen i myr

3.1 Motsetninger mellom klimagassflukser

Mens naturlig myr vanligvis er et netto sluk for CO₂, slipper disse økosystemene ut CH₄ (metan), som er en potent klimagass. På vektbasis har CH₄ 28 ganger så stor oppvarmingseffekt som CO₂ i en 100-års periode (Myhre et al. 2014). Dette betyr at en liten økning i metanutslipp kan motvirke effekten av CO₂-opptak i form av klimagasser, selv om økosystemet i seg selv kan øke karbonlagringen (Petrescu et al. 2015).

Oppvarmingseffekten til CH₄ varierer imidlertid avhengig av hvilken tidsperiode man betrakter den. Metan har en gjennomsnittlig levetid på 12,4 år i atmosfæren (Myhre et al. 2013), siden den reagerer med hydroksylradikalet OH og danner CO₂. Når man vurderer oppvarmingspotensialet til CH₄, er det derfor viktig å angi hvor mye av den første 12,4-års perioden som er inkludert. Ved en vurdering i en kort periode, f. eks. 50 år, kan myr vise seg å ha en netto oppvarmingseffekt hvis CH₄-utslippet er stort nok. Forholdet mellom CH₄ og CO₂ kan derfor ha stor betydning for det globale oppvarmingspotensialet for myr (figur 2). Over lengre perioder som århundrer eller årtusener har imidlertid myr fjernet massive mengder CO₂ fra atmosfæren og dermed redusert den totale belastningen av klimagasser (Frolking et al. 2006).

3.2 CO₂-flukser i myr

Naturlig myr er vanligvis et netto sluk for CO₂ (Petrescu et al. 2015). Planter tar opp CO₂ gjennom fotosyntesen, og når denne er større enn frigjøringen av karbon gjennom respirasjonen hos planter og mikroorganismer i jord, er myr et sluk for karbon. Drenering av myr vil imidlertid stimulere jordrespirasjonen og dette kan endre økosystemet fra et CO₂-sluk til en CO₂ kilde (Petrescu et al. 2015). For å kunne forstå denne sammenhengen mellom vannstand og slukfunksjonen i myr, er det nødvendig med en grundig forståelse av jordrespirasjonen.

MÅLING AV ØKOSYSTEMØKOSYSTEMERS KARBON- OG KLIMAGASS-BALANSE

GPP: Brutto primærproduksjon (Gross Primary Productivity) er et uttrykk for fotosyntese-hastigheten.

NEE: Netto økosystem balanse (Net Ecosystem Exchange) er brutto primærproduksjon minus karbontap gjennom respirasjon (både autotrof og heterotrof).

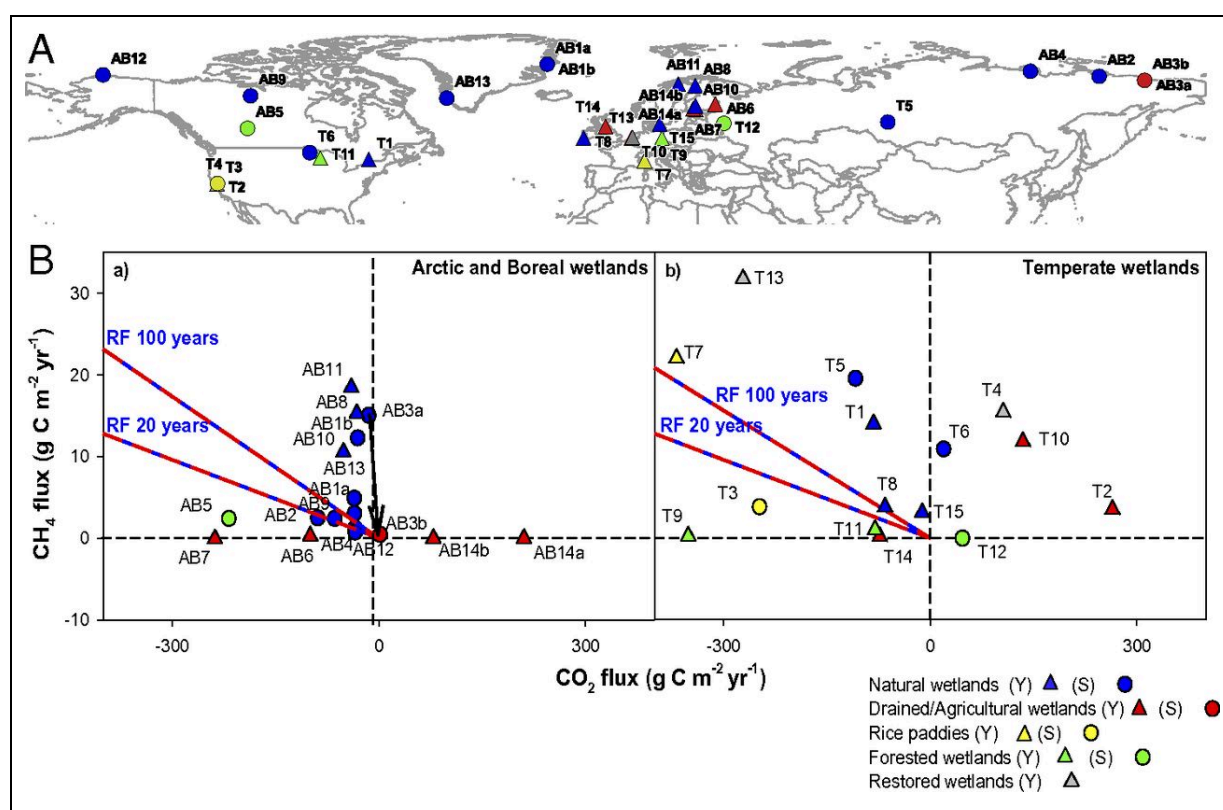
C-balanse: Økosystemets totale C-balanse, inkludert alle måter karbon kan tapes fra systemet til vann eller luft.

GWP: Globalt oppvarmingspotensial (Global warming potential) er den oppvarmingseffekten en klimagass har på det globale klimaet. Ved dette konseptet kan en ta hensyn til ulike oppvarmingspotensial for CH₄ (28 x CO₂) og N₂O (264 x CO₂).

Strålingspådriv: er et mål for virkningen av en gass på energibalansen på jorda. Alle økosystemene har et strålingspådriv på miljøet på grunn av den langsiktige virkningen av netto utslipp av klimagasser som påvirker det globale klimaet.

Respirasjon kan foregå på ulike måter. I den oksiderte delen av jorda, f. eks. over vannspeilet, henter organismene energi ved å kombinere oksygen og organisk karbon til dannelse av CO₂. Denne prosessen kalles heterotrof respirasjon og er den mest vanlige måten som fører til at karbon lagret i døde planter går tilbake til atmosfæren. I tillegg til tilgang på oksygen er heterotrof respirasjon også begrenset av tilgang på næringsstoffer, pH (som også påvirker tilgjengeligheten av næringsstoffer) og kvaliteten av det organiske karbonet.

Kvaliteten av organisk karbon gir uttrykk for hvor lett karbonet kan nedbrytes av organismer og antas å henge sammen med kompleksiteten av karbonforbindelsene (f. eks. er sukker enklere forbindelser enn cellulose mens lignin er relativt komplekst). Siden lett nedbrytbare stoffer fjernes raskere, vil karbonkvaliteten vanligvis avta med alderen. Dette innebærer at karbonkvaliteten varierer med dybden og kan også betraktes som en funksjon av tid etter drenering.



Figur 2. CH₄ plottet mot CO₂ med linjer for likevekt (blå og rød) som representerer det punktet hvor CO₂-opptaket vil balansere mot CH₄-emisjonen i form av globalt oppvarmingspotensial. RF (strålingspådriv= radiative forcing) er oppvarmingseffekten av disse gassene over en bestemt periode, i dette tilfelle 20 og 100 år. CH₄ har en global oppvarmingseffekt på 28 i en 100 års periode. Trekkanter representerer lokaliteter med årlige balanser (Y) og sirkler representerer lokaliteter med sesongmessige balanser(S). Fra Petrescu et al. (2015)

Ved siden av heterotrof respirasjon, hvor mikroorganismer bryter ned organisk materiale, kan også planter, gjennom metabolsk aktivitet, produsere CO₂ som går tilbake til atmosfæren. Denne prosessen blir kalt autotrof respirasjon. Omfanget av autotrof respirasjon er betinget av vekst og utvikling av plantene.

Noen planter har gjennom historien utviklet en strategi hvor de vokser raskt for å konkurrere om lys og næringsstoffer. I en næringsfattig myr har organismene ofte langsom vekst og svak respirasjon. Autotrof respirasjon utgjør som regel halvparten av brutto fotosyntese hos en plante, og er derfor en viktig del av karbonbalansen i et økosystem.

Ved måling av CO₂-utslipp fra et økosystem kan en vanligvis ikke skille mellom de to typene av respirasjon fra planter og jordorganismer. Derfor betraktes de to fluksene samlet som økosystemrespirasjon. Den fullstendige netto økosystemutvekslingen er definert som balansen mellom brutto primær fotosyntese og økosystemrespirasjon fra både planter og mikroorganismer. CO₂-C fluks balansen er avhengig av et komplekst samspill mellom vegetasjonstype, inklusiv vekst- og utviklingshastighet, og mikrobiologisk nedbryting, som er drevet av tilgang på oksygen, næringsstoffer og karbon.

For eksempel har den historiske utviklingen av planter og deres vekstformer stor betydning for heterotrof respirasjon (Schulze, 2006). Karplanter produserer røtter for å ta opp næringsstoffer og få tilgang til vann fra dypere lag. De frigir også roteksudater, som er enkle former for organisk karbon som stimulerer nedbrytingen av dødt plantemateriale for å få tilgang til næringsstoffer. Dette innebærer at karplanter også har evne til å stimulere nedbrytingen av lagret organisk materiale (Crow & Wieder 2005; Dijkstra et al. 2007; Fontaine et al. 2007). Ikke-karplanter som *Sphagnum*-moser har ikke røtter og er derfor avhengig av høy vannstand. De har en svamplignende struktur for å holde på fuktighet og fange opp regnvann, og er derfor nøkkelarter for utvikling av nedbørsmyr. Flere ikke-karplanter er intorelante mot tørke (Breeuwer et al. 2007). Dette er årsaken til at drenering av myr ofte fører til tap av *Sphagnum*-moser og økt dominans av karplanter slik som starr (*Carex*), gras og busker (Malmer et al. 1994).

TYPER AV ORGANISMER

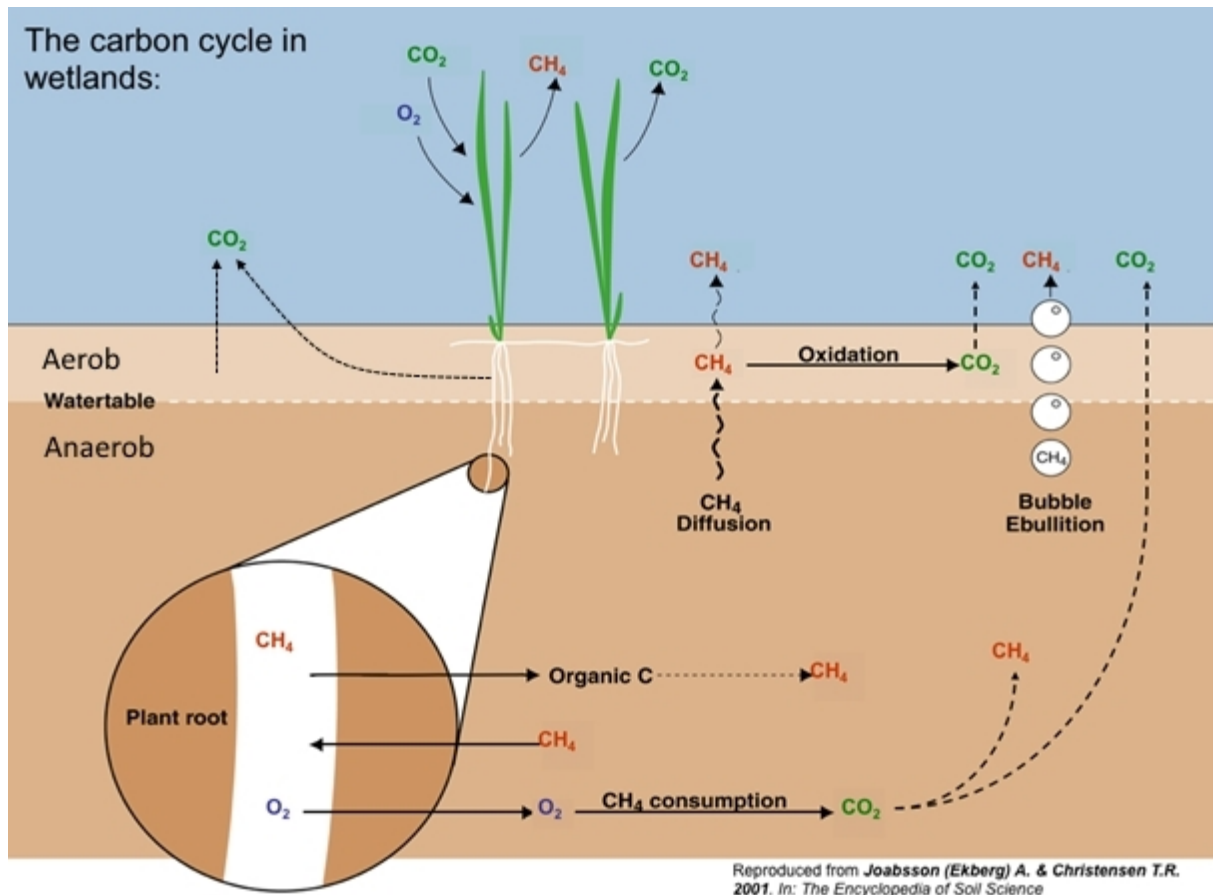
Autotrofe: Organismer som kan produsere sin egen næring. Flere prosesser kan gjøre dette mulig, men fotosyntesen er den viktigste for karbonlagring i myr.

Fotosyntese er en prosess hvor organismer benytter sollys til å fikse CO₂ til sitt vev. En del av dette karbonet blir frigjort igjen som CO₂ som følge av metabolske prosesser, men karbonet kan forbli i døde planter inntil det blir brutt ned av heterotrofe organismer.

Heterotrofe: Organismer som ikke kan produsere sin egen næring. De bryter ned karbon som er fiksert av autotrofe organismer.

Metanogene: Heterotrofe organismer som lever i et miljø med mangel på oksygen. De produserer CH₄ ved nedbryting av organisk materiale.

Metanotrofe: Organismer som konsumerer CH₄ for å produsere CO₂.



Figur 3: Framstilling av karbonsyklusen i myr, som viser banene for CO_2 og CH_4

3.3 CH_4 -utslipp fra myr

Mens produksjon av CO_2 er dominert av respirasjon i den aerobe delen av jorda, produseres CH_4 ved nedbryting av organisk materiale under anearobe forhold, under vannspeilet, av såkalte metanogene mikroorganismer (se figur 3). Metanproduksjonens hastighet er avhengig av kvaliteten på det organiske materialet, det vil si hvor lett det brytes ned. Det er derfor et større potensial for CH_4 -produksjon i den øverste delen av jorda, der det er rikelig med ferskt organisk materiale, når den blir oversvømt. De metanogene bakteriene er sensitive for temperatur, og temperaturen i den mettede sonen er dermed også viktig for metanproduksjonen.

Produksjonen av CH_4 er en lite energieffektiv prosess som derfor også er påvirket av kjemiske forhold i jorda. CH_4 produseres derfor bare når alternative former for respirasjon ikke er mulig. Mens aerob respirasjon er begrenset under vannspeilet, kan mikroorganismer utnytte nitrat, sulfat og jern. gjennom anaerob respirasjon Dette kan ha stor betydning ikke bare for CH_4 -produksjonen, men også for respirasjonshastigheten til organisk materiale i fravær av oksygen (Reddy et al. 1986). For å kunne vurdere potensialet for CH_4 -produksjon, er det derfor nødvendig å ha kjennskap til næringstilstanden i jorda.

Så snart CH_4 er produsert, kan gassen bevege seg oppover mot atmosfæren gjennom diffusjon. Men hvis vannspeilet er under overflata, vil den passere gjennom den aerobe delen av jorda. I slike tilfeller kan metanutslippet ble redusert, siden metan blir raskt oksidert av mikroorganismer i den aerobe jorda. En senking av vannspeilet med flere desimeter kan redusere metanutslippet betydelig (Moore & Knowles

1989). En usikkerhetsfaktor ved denne prosessen er dannelse av store metanbobler som kan bevege seg oppover og slippe ut i atmosfæren gjennom det aerobe laget (Stamp et al. 2013).

På samme måte som roteksudater kan påvirke CO₂-produksjonen, er de også viktige for CH₄-produksjonen. Dette kan forklare hvorfor flere studier har rapportert om sterke sammenhenger mellom CH₄-produksjon og primærproduksjon (Schimel 1995; Belissario et al. 1999; Joabsson et al. 1999; Merilä 2006; Strack 2006; Strom et al. 2011). Dessuten har bestemte arter av våtmarksplanter kanaler gjennom intercellulære hulrom som muliggjør utveksling av gasser mellom røtter og overjordiske deler av planten. I røtter som ofte strekker seg til den anaerobe delen av jordsonen, kan disse strukturene transportere oksygen til grunnen og forhindre råte. Til tross for at dette kan stimulere forbruket av CH₄ (Ström et al. 2005; Dinsmore et al. 2009), kan hulrommene også virke som kanaler for CH₄, som kan passere gjennom det aerobe laget i jorda og direkte til atmosfæren. Mengden av roteksudater og strukturer med intercellulære hulrom er spesifikk for hver planteart. Dette betyr at sammensetningen av plantesamfunnet kan ha stor betydning for CH₄-emisjonen (Ström et al. 2005; Ström & Christensen 2007; Koebisch et al. 2013). Det er derfor sannsynlig at endringer i artssammensetning etter drenering eller restaurering vil påvirke CH₄-emisjonen.

4 Metoder for meta-analyser

4.1 Inndeling i klimasoner

Mange tidligere studier har sett på hvordan manipulasjon av vannspeilet påvirker karbon- og klimagassbalansen i myr. I denne rapporten har vi oppsummert funnene i disse studiene. Som en følge av vanlig praksis har studiene blitt gruppert etter klimatiske regioner, dvs. enten som tempererte eller boreale. Boreale økosystemer forekommer i regioner med subarktisk klima (ca. 60-70 grader nord). Subarktisk klima er karakterisert ved 5-7 måneder lange vintre, med temperatur under 0 °C, og korte somre, med temperatur over 10 grader for minst en måned. Boreale økosystemer er spesielt sensitive for klimaendringer på grunn av den nære forbindelsen mellom denne klimasonen og de raske endringene som skjer i arktisk klima.

Tempererte økosystemer finnes sør for den boreal sone og nord for den subtropiske. En stor del av Sentral- og Vest-Europa og Nord-Amerika finnes i denne regionen (ca. 40-60 grader nord). Typisk for den tempererte regionen er skiftende vær og store sesongmessige variasjoner i temperatur og nedbør. Som følge av høy befolkningstetthet i denne regionen har mange økosystemer vært gjenstand for direkte og indirekte forstyrrelser. I Storbritannia for eksempel, er mange semi-naturlige habitater i større grad gjenspeilet av historisk arealbruk enn upåvirket utvikling av naturlige økosystemer.

Andre europeiske habitater er også forstyrret av tilgrensende arealbruk som kan påvirke regional hydrologi og næringstilgang.

Definisjonen av boreale og tempererte regioner varierer i litteraturen. Selv om disse to regionene kan bli definert ved breddegrad, er definisjonen mangelfull sammenlignet med en klassifisering basert på middelårstemperatur. Sub-arktiske klimaforhold er ikke begrenset til breddegrader over 60 grader nord og kan omfatte enkelte høyfjellsregioner i Sentral-Europa. I tillegg er det imidlertid ingen fast regel at alle regioner over 60 grader nord er klassifisert etter denne definisjonen. Eksempler på dette er enkelte kystregioner hvor globale havstrømmer har sterk påvirkning på klimaet, slik som vestkysten i Norge. Men på grunn av mangel på konsistent rapportering av årlige ekstremvær i litteraturen, vil vi bruke definisjonen av boreal ut fra breddegrad (60 grader nord). Dette vil ikke være den mest presise funksjonelle definisjonen av den klimatiske spennvidden, men det gir en forståelse i disse studienes geografiske utbredelse og kan være en bedre indikator på det relative regionale potensialet for menneskeskapte forstyrrelser. Dessuten omfatter 60 grader nord de regionene i Norge hvor det har vært mest fokus på restaurering av myr. Boreal region vil derfor representere de norske forholdene på en tilfredsstillende måte.

4.2 Omfanget av meta-analyser

Vi ønsket i utgangspunktet å vurdere potensialet for restaurering av nedbørsmyr ved å analysere områder som var klimatisk like Norge (det vil si områder i boreal sone). Våre innledende litteratursøk viste imidlertid at det var mangel på data om årlige og sesongmessige utslipp fra nedbørsmyr i boreal sone (Komulainen et al. 1998 & 1999; Kivimäki et al. 2008). Definisjonen av nedbørsmyr er imidlertid også inkonsistent i litteraturen. Studier som refererer seg til områder med nedbørsmyr kan ligne like mye på jordvannsmyr på grunn av virkningen av dyrkingspraksisen før restaurering (Strack et al. 2014). Dessuten kan hydrologiske endringer etter dreningen ha ført til myrsynking, som har brakt den obrogene nedbørsmyra i kontakt med grunnvannet. I mange studier er det ikke gjort målinger av næringstilstanden på den undersøkte myrjorda. Dynamikken som påvirker både karbonlagringen og det globale oppvarmingspotensialet på myrjord er imidlertid avhengig av universelle prosesser som er relevante for alle typer myr. (Wilson et al. 2016). Vi vil derfor ta med et bredt utvalg av studier av forskjellige myrtyper

i ulike klimasoner. På denne måten regner vi med å få bedre forståelse av den generelle responsen av ulike behandlingstiltak på myr.

4.3 Bruk av verdier fra litteraturen

I denne studien har vi bare rapportert netto økosystem balanse (NEE) og CH₄-emisjon. N₂O-emisjon er svært viktig i enkelte tilfeller, men i mange studier er den ikke blitt målt. Det er derfor usikkerhet knyttet til betydningen av N₂O-emisjon fra restaurert myr. Det er også mangel på studier som omfatter karbontap til vann i løst og partikulær form (DOC/DIC, POM). På grunn av mangel på konsistente data om disse to temaene, er de ikke tatt med i vår rapport. Vi har også utelatt studier som rapporter kortsiktige flukser uten oppskalering til sesongmessige eller årlige flukser. Ved oppskalering er det viktig å ta hensyn til sesongmessig og årlig dynamikk i vær og plantevekst.

Alle verdiene har blitt omregnet til milligram per kvadratmeter og time (mg m⁻² hr⁻²). De tilgjengelige estimatene av gassflukser viser stor variasjon i tid. Enkelte studier viser bare målinger i løpet av vekstsesongen, og det kan føre til overestimering av karbonopptaket når emisjonen av CO₂ og CH₄ om vinteren ikke er tatt hensyn til. Vi vil derfor gruppere studiene i to kategorier, årlige og sesongmessige (vekstsesong), og vise disse målingene separat.

5 Resultater

5.1 Temperert vs boreal

Det finnes flere studier av temperert myr enn av boreal myr. Det er derfor vanskelig å gjøre en statistisk sammenligning av karbon- og klimagassdynamikk mellom regionene. Det synes også å være større spredning i alle verdier knyttet til temperert myr enn tilfellet er for boreal sone (figur 4 og 5). Andre studier har også vist at temperert myr viser større variasjon i karbonbalanse og klimagasser enn boreal myr (Humphreys et al. 2014; Wilson et al. 2016). Dette skyldes trolig relativt større variasjon i årlige klimatiske forhold og graden av nåværende og historiske forstyrrelser (Wilson et al. 2016). For eksempel er myr i Nederland mer eksponert for næringstilførsel gjennom nedbør (Pearson & Stewart 1993; Pearson & Soares 1995) og steder som Authencorth Moss i Skottland, er referert til som naturlig myr, selv om den tidligere har vært drenert (Drewer et al. 2010). Til tross for disse forskjellene er det generelle atferdsmønsteret til temperert og boreal myr likt. I våre datasett er boreal myr et litt mindre sluk for CO₂-C og en sterkere kilde for CH₄ enn temperert myr (figur 4). På grunn av mangel på studier i den boreale regionen og den store variasjonen i data fra det tempererte regionen, er ikke disse forskjellene statistisk signifikante og trenger derfor ikke nødvendigvis å representere de reelle forskjellene.

5.2 Naturlig myr

5.2.1 Karbondynamikk i naturlig myr

Dataene som er presentert i rapporten viser at naturlig myr som regel er et sluk for CO₂, selv om det finnes noen merkbare unntak. Flere positive verdier for årlig balanse representerer studier gjennomført i tørre år (Shurpali et al. 1995; Waddington & Price 2000; Lund et al. 2007; Strack & Zuback 2013). I omfattende studier (Griffiths et al. 2000; Kurbatova et al. 2009; Lund et al. 2009, Helfter et al. 2014) er det også blitt rapportert om signifikant variasjon mellom år, hvor myr kan skifte fra sluk til kilde (Oechel et al. 1993; Shurpali et al. 1995; Lafleur et al. 1997; Alm et al. 1999). Dette understreker utfordringene ved å rapportere estimater av karbonbinding i myr over korte tidsperioder og forklarer det økende internasjonale fokuset på lang tids datasett (Petrescu et al. 2015). Alt i alt vil imidlertid naturlig myr lagre karbon så lenge den ikke blir forstyrret av f. eks. klimaendringer.

5.2.2 Globalt oppvarmingspotensial i naturlig myr

Mens naturlig myr er et langtidssluk for atmosfærisk karbon, kan den også være en kilde til klimagasser. Både i temperert og boreal sone er naturlig myr en kilde til CH₄ og et sluk for CO₂. Tatt i betraktning det 100-års globale oppvarmingspotensialet for metan, kan enkelte myrer vise seg å ha et positivt oppvarmingspotensial. Dette er imidlertid avhengig av hvilken tidsskala man betrakter. På grunn av den raske nedbrytingen av CH₄ i atmosfæren er oppvarmingspotensialet for CH₄ bare 7,6 ganger større enn for CO₂ når man betrakter en tidsskala på 500 år (Myhre et al. 2013). Naturlig myr har derfor en netto avkjølende langtidseffekt på miljøet (Whiting & Chanton 2001; Petrescu et al. 2015). Dette er understøttet av verdier vi har for CO₂-C lagring som viser at naturlig myr i gjennomsnitt er et sluk for CO₂-C.

5.3 Drenert myr

5.3.1 Karbondynamikk i drenert myr

Drenert myr er som regel en kilde til CO₂ både i den tempererte og i den boreale regionen, noe som indikerer tap av karbon. Noen få studier på drenert myr viser netto opptak av karbon. Det er flere mulige

årsaker til dette. For det første viser flere av studiene som er med i vår rapport bare målinger gjort i vekstsesongen (Komulainen et al. 1998, 1999). Ved å utelate vinterflukser, som representerer en betydelig emisjon til atmosfæren (Lund et al. 2007), blir slukeffekten trolig overestimert. Lav temperatur i boreale områder vil også redusere respirasjonen, og dette kan delvis forklare forskjellen fra tempererte områder.

Effekten av drenering er tydeligst i den tempererte regionen, hvor et større antall av studiene viser at drenering fører til en endring av økosystemet til en kilde til utslipp til atmosfæren. De to lokalitetene som viser netto opptak av karbon, til tross for drenering, er i Tsjekkia og har svært høy primær produktivitet. Dette skyldtes trolig god næringstilstand i jorda (Urbanova et al. 2012). Dessuten er resultatene for disse lokalitetene basert på verdier fra vekstsesongen, og representerer derfor trolig en overestimering av slukeffekten.

De høyeste emisjonene i vårt datasett er fra torvuttak (Tuittila et al. 2000; Waddington & Price 2000; Waddington et al. 2010; Strack & Zuback 2013; Strack et al. 2014; Vanselow-Algan et al. 2015). Disse lokalitetene mangler ofte vegetasjon, som kan bety at det ikke tas opp, men bare slippes ut karbon.

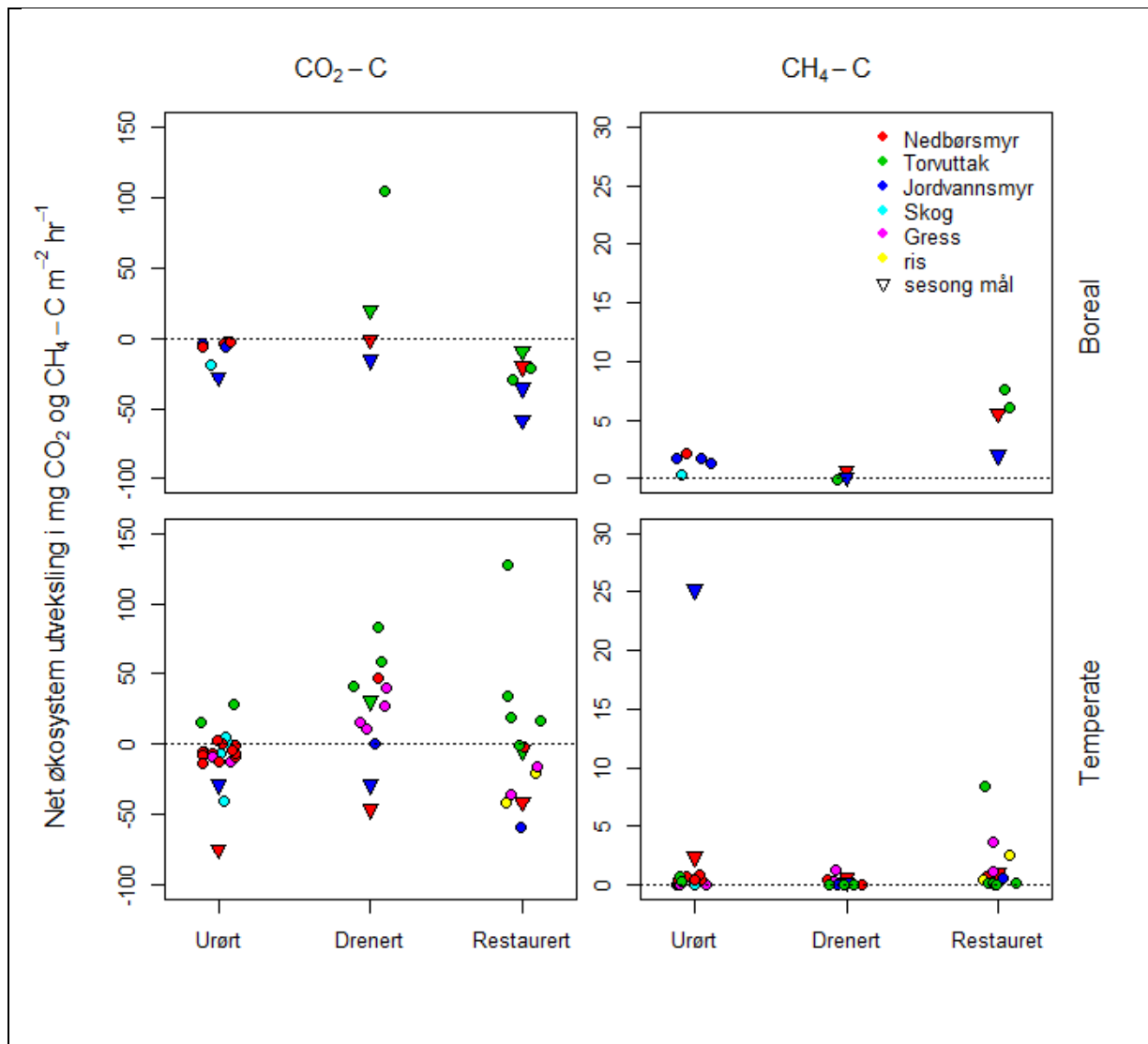
5.3.2 Globalt oppvarmingspotensial i drenert myr

I motsetning til naturlig myr, er CO₂ den dominerende klimagassen i drenert myr. Den høye CO₂-emisjonen er et resultat av den aerobe nedbrytingen av organisk karbon i jorda. Samtidig er CH₄-emisjonen hemmet fordi lavt vannspeil fører til redusert potensial for CH₄-produksjon og økt mulighet for CH₄-oksidasjon i den øvre, areobe delen av jorda. Dersom planteproduksjonen er tilstrekkelig stor, kan den lave CH₄-emisjonen muligens føre til at enkelte drenerte områder kan være et sluk for klimagasser (Shurpali et al. 2009; Urbanova et al. 2012), men slike tilfeller er mer unntak enn regel.

5.4 Restaurert myr

5.4.1 Karbonbalanse i restaurert myr

Nylig restaurert myr har et større potensial som sluk enn naturlig myr i både boreal og temperert region. Mange studier har pekt på den raske utviklingen av karplanter som en grunn til den relativt sterke slukfunksjonen den første tiden etter restaurering (Tuittila et al. 2000; Yli-Petäys et al. 2007). I vårt datasett var restaurert myr vanligvis et større karbonsluk enn drenerte områder, men områder med torvuttak i den tempererte regionen var fortsatt en kilde. Dette kan muligens være betinget av hvorvidt vegetasjon var re-etablert på en vellykket måte eller ikke (Strack et al. 2014).



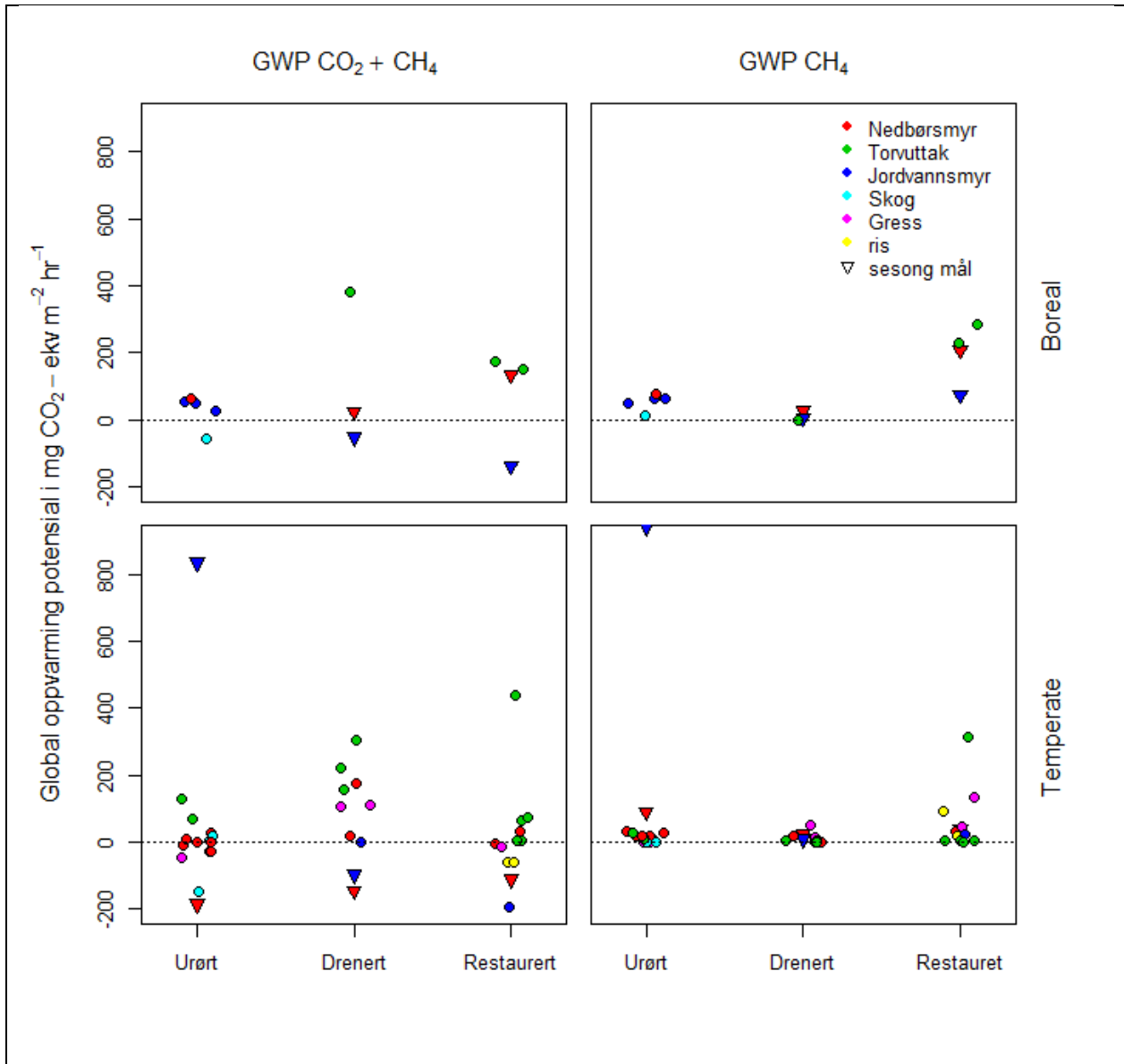
Figur 4. Verdier for karbonbalanse i form av CO₂ og CH₄ i naturlig, drenert og restaurert myr i den boreale og tempererte regionen

5.4.2 Globalt oppvarmingspotensial i restaurert myr

I tillegg til å redusere karbontap kan restaurering stimulere CH₄-emisjonen, noe som kan gi et viktig bidrag til klimagassbalansen på restaurert myr. Økt CH₄-emisjon etter restaurering er godt dokumentert (Kolumainen et al. 1998). Restaurering kan stimulere CH₄-emisjonen på flere måter enn overgang til anaerob tilstand. For det første kan de opprinnelige plantene som ikke er tilpasset høyt vanninnhold dø ut (Vanslow-Algan et al. 2015). Dette kan føre til rask frigjøring av ferskt plantemateriale og stimulere CH₄-produksjon i vannmettede områder.

Når det i neste omgang kommer inn ny vegetasjon, vil karplanter stimulere CH₄-produksjon gjennom roteksudater og virke som kanaler for CH₄-emisjon (Waddington et al. 1996; Cowenberg 2009). Denne effekten kan bli redusert over tid hvis det skjer en økning i mengden av ikke-karplanter, f. eks. utbredelse av *Sphagnum*-arter. Det er klare tegn på at vegetasjonssammensetningen kan påvirke potensialet for CH₄-emisjonen (Ström et al. 2005; Ström & Christensen, 2007; Koebisch et al. 2013). Suksesjonen i vegetasjonen er derfor en viktig faktor for det framtidige potensialet for CH₄-emisjon. Utviklingen av CH₄-produksjon kan imidlertid trenge en viss tid etter restaurering, siden lang tids drenering kan ha

undertrykt populasjonene av CH₄-produserende mikroorganismar. Dette kan resultere i et etterslep i tid i CH₄-produksjon etter restaurering (Goodrich et al. 2015). Studier basert på bare de første par årene etter restaurering kan derfor underestimere potensialet for CH₄-produksjon og -emisjon.



Figur 5. Globalt oppvarmingspotensial i en 100 års horisont for alle myrer fra et litteraturstudium (2007 IPCC AR4). Negative verdier indikerer sluk for klimagasser og positive verdier betyr at områdene er netto kilde for klimagasser

6 Diskusjon

6.1 Potensial for karbonlagring og klimagassreduksjon ved restaurering

Studier som omfatter både restaurert og drenert myr viser en tydelig karbonlagring og reduksjon i klimagassutslipp ved restaurering. Det endelige myrøkosystemet kan fortsatt være en svak kilde til både karbon og klimagasser, avhengig av hvor vellykket restaureringen er, men i gjennomsnitt er resultatet en reduksjon i utslipp i forhold til tilstanden før restaurering. Dette gjelder spesielt for netto CO₂-opptak, siden det er et stabilt mønster av karbonlagring etter restaurering.

Karbonlagringen i den boreale regionen synes å være mindre enn i den tempererte, men på grunn av mangel på relevante studer i den boreale regionen, er det usikkert hvor sammenlignbare datasettene er mellom disse regionene. Forskjeller i produktivitet mellom regionene kan ha betydning for å oppveie effekten av økt CH₄-emisjon etter restaurering. Det er imidlertid et stor antall myrer fra torvuttak i det tempererte datasettet som har svært forskjellig historie og derfor forskjellige egenskaper.

Den største usikkerheten ligger i klimagassreduksjon etter restaurering, som kan variere med mer enn 100 prosent fra gjennomsnittet. Dette innebærer at enkelte områder kan bli en større kilde enn før restaurering, mens andre områder blir et større sluk. CH₄-emisjon har stor betydning for klimagassbalansen i restaurert myr og er alltid årsaken til det høye potensialet for klimagassutslipp. Alle verdiene for global oppvarmingsfaktor er basert på beregninger i en 100-års horisont for CH₄. Tar en hensyn til oppvarmingsfaktoren over en lengre tidsperiode, vil denne verdien reduseres betydelig. Det er dessuten flere studier som tyder på at de ekstremt høye verdiene for CH₄-emisjon en kan observere etter restaurering, vil avta over tid som følge av utviklingen av plantesamfunnet og etablering av arter som er vanlige i myrvegetasjon. Høy CH₄-emisjon kan derfor være et overgangsfenomen. Likevel har minst en studie vist ekstremt høy CH₄-emisjon 30 år etter restaurering. Det relativt ustabile vannspeilet og den store mengden av ikke-myrplanter er oppgitt som en sannsynlig årsak til denne emisjonen. (Vanslow-Algan et al. 2015). Dette viser hvor viktig det er å ta hensyn til de lokale forholdene etter en restaurering. Lang tids overvåking er derfor nødvendig for å følge med utviklingen av restaurerte økosystemer og for å vurdere resultatet av restaureringsmetodene med hensyn til karbonlagring og reduksjon av klimagasser.

6.2 Betydning av plantesamfunn

Et stort antall studier har rapportert om forskjeller i emisjonspotensial mellom ulike typer plantesamfunn, i forsøk på å forklare variasjonen i emisjon (Bortoluzziet al. 2006; Wilson et al. 2007; Kivimäki et al. 2008; Wilson et al. 2009; Waddington et al. 2010; Wilson et al. 2013; Wilson et al. 2016). Flere av disse studiene sammenligner bar myr med bare karplanter, f. eks. *Eriophorum* (myr ull), med ikke-karplanter, representert med *Sphagnum*-moser. Fra de studiene som er med i denne meta-analysen er bar myr en kilde til CO₂-C og klimagasser, selv om det er et svakt sluk for CH₄. På tidligere torvuttak kan myroverflata være bar på grunn av tiden som trengs for å etablere et plantedekke. Dette kan skyldes dårlig næringstilstand i de gjenværende jordlagene og effekten av værforhold i form av tørking, frysing og tinings-sykler (Groeneveld & Rochefort 2002). I studer av restaurering på tidligere torvtak er det ofte foreslått kompensasjonstiltak som tildekking av jorda med halm (Petroni et al. 2003) og tilførsel av *Sphagnum* (Strack et al. 2016) for å få en raskere tildekking av jorda.

Plantesamfunn dominert av *Eriophorum*-arter er store sluk for CO₂-C og klimagasser. I vår analyse har vi sett studier som har rapportert større potensial for CO₂-C opptak på lokaliteter dominert av *Eriophorum* arter enn på lokaliteter dominert av *Sphagnum*. *Eriophorum* spiller en viktig rolle i CO₂-C balansen i myr etter restaurering (Tuittila et al. 1999). Karplanter slik som *Eriophorum* har stor produktivitet i næringsfattige habitater (Silvan et al. 2005) og betraktes som viktige planter i utvikling av myr, da den kan danne mikrohabitater som bidrar til kolonisering av *Sphagnum* (Groeneveld & Rochefort, 2002) og immobilisering av næringsstoffer (Silvan et al. 2004). Slekten *Eriophorum* er kjent for å stimulere produksjon av CH₄, noe som kan forklare den økte emisjonen av CH₄ fra bar overflate (Waddington et al. 1996; Tuittila et al. 1999; Cowenberg 2009). Selv om CH₄-emisjonen er positiv i mesteparten av studiene, er CO₂-opptaket sterkt negativt, og dette oppveier i stor grad emisjonen av CH₄.

Veksten av myrdannende arter slik som *Sphagnum* er viktig for oppbygging av karbon og klimagassbalansen i naturlig myr (Aerts et al. 1999; Turetsky 2003; Raghoebarsing et al. 2005). Studier har vist at *Sphagnum*-dekke kan redusere CH₄-emisjon på grunn av et mulig symbiotisk forhold mellom *Sphagnum* og metanoksiderende bakterier (Kip et al. 2010) og mindre tilførsel av organisk karbon i form av roteksudater. I flere av studiene som det er referert til i denne rapporten, er det imidlertid funnet at lokaliteter dominert av *Sphagnum* har høyere målinger for CH₄ enn lokaliteter dominert av *Eriophorum* (Wilson et al. 2014; Wilson et al. 2016). Wilson et al. (2016) antok at moser kunne ha dødd ut som følge av tørke og derfor ført til økt tilgang på ferskt karbon som stimulerer CH₄-produksjon. Dessuten kan tørke påvirke karbonopptak gjennom fotosyntesen og føre til at området skifter til å bli en kilde til klimagasser. Karplanter er mindre utsatt for tørke, og det fører til at endringer i vannspeilet har mindre påvirkning på sluk-funksjonen i myr dominert av karplanter enn i myr dominert av moser.

Fra vår litteraturgjennomgang synes det klart at det er mangel på langtidsstudier av effekten av restaurering på plantesamfunn og på responsen på karbonlagring og klimagassutslipp (Strack et al. 2016; Wilson et al. 2016). Langtidsstudier er viktige for å få kunnskap om langsiktige endringer i vegetasjonen etter restaurering. Sammensetningen av vegetasjonen er tydelig påvirket av stabiliteten itil vannspeilet (Malmer et al. 1994; Vanselow-Algan et al. 2015) og næringstilstanden (Limpens & Berendse 2003; Bubier et al. 2007). Lang tids drenering av myr, og spesielt høymyr, kan medføre at de hydrologiske forholdene etter restaurering blir vesentlig endret i forhold til naturtilstanden, noe som også kan ha vesentlig betydning for næringstilgang og stabilitet i vannstand etter restaureringen (Hallama et al. 2015). Ustabilitet i vannstand kan også påvirke sammensetningen av vegetasjonen og favorisere karplanter framfor *Sphagnum*-moser (Foster et al. 1988; Strack et al. 2006; Dieleman et al. 2015) og resultere i større langtids CH₄-emisjon (Vanselow Algan et al. 2015). Både vegetasjonssammensetningen, karbonlagringen og klimagassemisjonen er avhengig av om vannspeilet er stabilt eller varierende etter restaureringen.

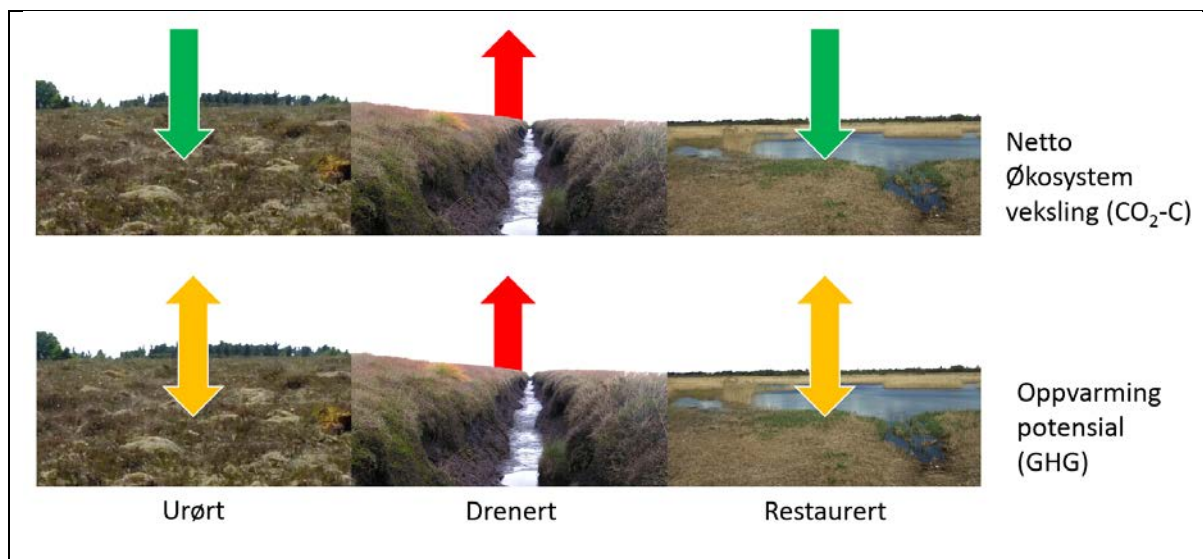
6.3 Begrensninger i estimatene

Estimater fra litteraturen er til hjelp for å danne et bilde av karbon- og klimagassbalansen i naturlig, drenert og restaurert myr. Det er likevel viktig å være oppmerksom på begrensningene til disse studiene, kunne forstå hvor usikkerhetene ligger, og identifisere kunnskapshull som trenger å bli dekket.

Flere av studiene i denne rapporten er basert på målinger ved bruk av statiske kammere. Denne metoden har begrensninger når resultatene skal brukes til oppskalering av fluksene. Det er nødvendig å fange opp variasjonene i både rom og tid. På grunn av begrensninger i finansiering og tid har flere studier ikke vært i stand til å ta hensyn til viktige landskapsmessige forhold i estimatene. Cooper et al. (2014) har for eksempel beregnet at gjenfylte grøfter etter restaurering kunne bli en betydelig kilde for CH₄, og til tross for at disse dekket små arealer, kunne emisjonen bli så stor at den hadde signifikant påvirkning på klimagassbalansen i området.

På grunn av begrenset tid har mange studier fokusert på sesongmessig i stedet for årlig emisjon. Fluksene i løpet av vinteren kan utgjøre en viktig del av den årlige klimagassbalansen. Utslipp av karbon og klimagasser kan fortsette i liten hastighet selv om temperaturene er lave. Dessuten kan resultater fra

kortsiktige studier bli feiltolket på grunn av store sesongmessige variasjoner i værforholdene. Strack & Zuback (2013) påviste at en restaurert myr kunne være en stabil kilde for CO₂-C og mente at dette skyldtes tørre forhold over flere år. Hvis en ikke tar hensyn til slike uregelmessigheter, kunne man feilaktig anta at restaurering er en lite effektivt på lang sikt for å gjenskape en karbonbalanse.



Figur 6. Skjematisk framstilling av karbonbalanse (øverst) og globalt oppvarmingspotensial (nederst) for naturlig, drenert og restaurert myr. Naturlig og restaurert myr er som regel sluk for karbon, men - avhengig av omfanget av CH₄-emisjonen, kan de også være en kilde til klimagasser i form av globalt oppvarmingspotensial. Drenert myr er kilde til både karbon og klimagasser. Bilde fra Wikimedia

Få studier har målt alle kilder til karbonfluks fra myr. I mange studier av karbon- og klimagassbalansen mangler det målinger av N₂O og flukser gjennom transport i vann i form av gass, vannløselige og partikulære karbonforbindelser. Disse ekstra bidragene til karbontap og fluks kan ha stor betydning for den årlige karbon- og klimagassbalansen og kan utgjøre forskjellen mellom å være målt som et sluk eller en kilde (Roulet et al. 2007). I denne studien har vi bare fokusert på CO₂-C balansen. Det betyr at områder med tilnærmet nøytral karbonbalanse faktisk kan tape karbon når en tar hensyn til transport gjennom vann. For å få en fullstendig forståelse av karbonbalansen i myr, må alle former for karbonfluks måles i en framtidig overvåking.

Mange studier er gjennomført like etter restaurering og er relativt kortsiktige. De varer vanligvis ikke mer enn 2-3 år. Det har blitt påvist at kortsiktige endringer, slik som suksesjon i plantesamfunnet, kan ha betydning for klimagassbalansen i myr (Tuittila et al. 2000). Andre endringer slik som utvikling av metanproduserende bakterier etter restaurering kan resultere i kortsiktige variasjoner i potensialet for klimagassfluks i myr, uten å ta hensyn til viktige framtidige endringer som kan ha betydning for evnen til karbonlagring og klimagassutslipp fra restaurert myr (Shannon & White 1994).

Referanser

- Alm J., Schulman L., Walden J., Martikainen P.J. and Silvola J., 1999 Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer. *Ecology*, 80, 161–174.
- Artz, R.R.E., Donnelly, D., Cuthbert, A.; Evans, C., Smart, S., Reed, M.; Kenter, J. and Clark, J., 2013 Restoration of lowland raised bogs in Scotland: emissions savings and the implications of a changing climate on lowland raised bog condition. Final report. Commissioned by the Scottish Wildlife Trust.
- Aslan-Sungur, G., Lee, X., Evrendilek, F., and Karakaya, N., 2016. Large interannual variability in net ecosystem carbon dioxide exchange of a disturbed temperate peatland. *Science of the Total Environment* 554–555, 192–202. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.02.153
- Aurela, M., Lohila, A., Tuovinen, J.P., Hatakka, J., Riutta, T., and Laurila, T., 2009. Carbon dioxide exchange on a northern boreal fen. *Boreal Environment Research* 14, 699–710. doi:10.1093/treephys/tpn047
- Beetz, S., Liebersbach, H., Glatzel, S., Jurasinski, G., Buczko, U., and Höper, H., 2013. Effects of land use intensity on the full greenhouse gas balance in an Atlantic peat bog. *Biogeosciences* 10, 1067–1082. doi:10.5194/bg-10-1067-2013
- Bortoluzzi, E., Epron, D., Siegenthaler, A., Gilbert, D., and Buttler, A., 2006. Carbon balance of a European mountain bog at contrasting stages of regeneration. *New Phytologist* 172, 708–718. doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01859.x
- Bubier, J.L., Moore, T.R., and Bledzki, L.A., 2007. Effects of nutrient addition on vegetation and carbon cycling in an ombrotrophic bog. *Global Change Biology* 13, 1168–1186.
- Cooper, M.D.A., Evans, C.D., Zielinski, P., Levy, P.E., Gray, A., Peacock, M., Norris, D., Fenner, N and Freeman, C., 2014. Infilled Ditches are Hotspots of Landscape Methane Flux Following Peatland Rewetting. *Ecosystems* 17. doi:10.1007/s10021-014-9791-3
- de Wit, H.A., Ledesma, J.L.J. and Futter, M.N., 2016. Aquatic DOC export from subarctic Atlantic blanket bog in Norway is controlled by seasalt deposition, temperature and precipitation. *Biogeochemistry* 127, 305–321. doi:10.1007/s10533-016-0182-z
- Desai, A.R., 2014. Influence and predictive capacity of climate anomalies on daily to decadal extremes in canopy photosynthesis. *Photosynthesis Research* 119, 31–47. doi:10.1007/s11120-013-9925-z
- Dieleman, C.M., Branfireun, B.A. and Mclaughlin, J.W., Lindo, Z., 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: Implications for ecosystem function and stability. *Global Change Biology* 21, 388–395. doi:10.1111/gcb.12643
- Drewer, J., Lohila, A., Aurela, M., Laurila, T., Minkinen, K., Penttilä, T., Dinsmore, K.J., McKenzie, R.M., Helfter, C., Flechard, C., Sutton, M.A. and Skiba, U.M., 2010. Comparison of greenhouse gas fluxes and nitrogen budgets from an ombrotrophic bog in Scotland and a minerotrophic sedge fen in Finland. *European Journal of Soil Science* 61, 640–650. doi:10.1111/j.1365-2389.2010.01267.x
- Humphreys E R., Charron C., Brown M., and Jones, R., 2014, Two Bogs in the Canadian Hudson Bay Lowlands and a Temperate Bog Reveal Similar Annual Net Ecosystem Exchange of CO₂. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research: February 2014, Vol. 46, No. 1, pp. 103-113.*
- Flanagan, L.B. and Syed, K.H., 2011. Stimulation of both photosynthesis and respiration in response to warmer and drier conditions in a boreal peatland ecosystem. *Global Change Biology* 17, 2271–2287. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02378.x
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz M., and Van Dorland R., 2007. "Changes in

- Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Foster, D.R., Wright, H.E., Thelaus, M. and King, G.A., 1988. Bog development and landform dynamics in central Sweden and south-eastern Labrador, Canada. *Journal of Ecology*, 76, 1164–1185.
- Frolking, S., Roulet, N. and Fuglestedt, J., 2006. How northern peatlands influence the Earth's radiative budget: Sustained methane emission versus sustained carbon sequestration. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111(G1).
- Goodrich, J.P., Campbell, D.I., Roulet, N.T., Clearwater, M.J. and Schipper, L.A., 2015. Overriding control of methane flux temporal variability by water table dynamics in a Southern Hemisphere, raised bog *Biogeosciences* 12(5) 819–831. doi:10.1002/2014JG002844.Received
- Gorham, E., 1991. Northern peatlands - role in the carbon-cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications* 1: 182–195.
- Griffis, T.J., Rouse, W.R. and Waddington, J.M., 2000. Interannual variability of net ecosystem CO₂ exchange at a subarctic fen. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(4), pp.1109-1121.
- Groeneveld, E.V. and Rochefort, L., 2002. Nursing plants in peatland restoration: on their potential use to alleviate frost heaving problems. *Suo*, 53(3-4), pp.73-85.
- Hallema, D., Lafond, J., Periard, Y., Gumiere, S., Sun, G. and Caron, J., 2015. Long-term effects of peatland cultivation on soil physical and hydraulic properties: Case study in Canada. *Vadose Zone Journal*. doi:10.2136/vzj2014.10.0147
- Helfter, C., Campbell, C., Dinsmore, K.J., Drewer, J., Coyle, M., Anderson, M., Skiba, U., Nemitz, E., Billett, M.F. and Sutton, M.A., 2015. Drivers of long-term variability in CO₂ net ecosystem exchange in a temperate peatland. *Biogeosciences* 12, 1799–1811. doi:10.5194/bg-12-1799-2015
- Hendriks, D.M.D., van Huissteden, J., Dolman, a. J. and van der Molen, M.K., 2007. The full greenhouse gas balance of an abandoned peat meadow. *Biogeosciences Discussions* 4, 277–316. doi:10.5194/bgd-4-277-2007
- Herbst, M., Friborg, T., Schelde, K., Jensen, R., Ringgaard, R., Vasquez, V., Thomsen, a. G. and Soegaard, H., 2013. Climate and site management as driving factors for the atmospheric greenhouse gas exchange of a restored wetland. *Biogeosciences* 10, 39–52. doi:10.5194/bg-10-39-2013
- Hommeltenberg, J., Mauder, M., Dröslér, M., Heidbach, K., Werle, P. and Schmid, H.P., 2014. Ecosystem scale methane fluxes in a natural temperate bog-pine forest in southern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 198, 273–284. doi:10.1016/j.agrformet.2014.08.017
- Jackowicz-Korczyński, M., Christensen, T.R., Bäckstrand, K., Crill, P., Friborg, T., Mastepanov, M. and Ström, L., 2010. Annual cycle of methane emission from a subarctic peatland. *Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences* 115, 1–10. doi:10.1029/2008JG000913
- Joabsson, A., and T. R. Christensen., 2002. "Wetlands and methane emission." *Encyclopedia of Soil Science* : 1429-1432.
- Juszczak, R. and Augustin, J., 2013. Exchange of the greenhouse gases methane and nitrous oxide between the atmosphere and a temperate peatland in Central Europe. *Wetlands* 33, 895–907. doi:10.1007/s13157-013-0448-3

- Karki, S., Elsgaard, L., Kandel, T.P. and Laerke, P.E., 2016. Carbon balance of rewetted and drained peat soils used for biomass production: A mesocosm study. *GCB Bioenergy* 8(5), 969-980. doi:10.1111/gcbb.12334
- Kip, N., van Winden, J.F., Pan, Y., Bodrossy, L., Reichart, G.J., Smolders, A.J., Jetten, M.S., Damsté, J.S.S. and den Camp, H.J.O., 2010. Global prevalence of methane oxidation by symbiotic bacteria in peat-moss ecosystems. *Nature Geoscience*, 3(9), 617-621.
- Kivimäki, S.K., Yli-Petäys, M. and Tuittila, E.S., 2008. Carbon sink function of sedge and Sphagnum patches in a restored cut-away peatland: Increased functional diversity leads to higher production. *Journal of Applied Ecology* 45, 921–929. doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01458.x
- Knox, S.H., Sturtevant, C., Matthes, J.H., Koteen, L., Verfaillie, J. and Baldocchi, D., 2015. Agricultural peatland restoration: effects of land-use change on greenhouse gas (CO₂ and CH₄) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Global Change Biology* 21, 750–765. doi:10.1111/gcb.12745
- Koebisch, F., Glatzel, S., Hofmann, J., Forbrich, I. and Jurasinski, G., 2013. CO₂ exchange of a temperate fen during the conversion from moderately rewetting to flooding. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 118, 940–950. doi:10.1002/jgrg.20069
- Koehler, A.-K., Sottocornola, M. and Kiely, G., 2011. How strong is the current carbon sequestration of an Atlantic blanket bog? *Global Change Biology* 17, 309–319. doi:10.1111/j.1365-2486.2010.02180.x
- Komulainen, V., Nykänen, H., Martikainen, P.J. and Laine, J., 1998. Short-term effect of restoration on vegetation change and methane emissions from peatlands drained for forestry in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28(3), 402–411.
- Komulainen, V.-M., Tuittila, E.-S., Vasander, H. and Laine, J., 1999. Restoration of drained peatlands in southern Finland: initial effects on vegetation change and CO₂ balance. *Journal of Applied Ecology* 36, 634- 648.
- Kurbatova, J., Tatarinov, C., Varlagin, F., Shalukhina, N. and Olchev., 2009. Modeling of the carbon dioxide fluxes in European Russia peat bogs. *Environmental Research Letters* 4, 45022. doi:10.1088/1748-9326/4/4/045022
- Kurbatova, J., Tatarinov, F., Molchanov, a, Varlagin, a, Avilov, V., Kozlov, D., Ivanov, D. and Valentini, R., 2013. Partitioning of ecosystem respiration in a paludified shallow-peat spruce forest in the southern taiga of European Russia. *Environmental Research Letters* 8, 45028. doi:10.1088/1748-9326/8/4/045028
- Lafleur PM, McCaughey JH, Joiner DW, Bartlett PA, and Jelinski DE., 1997 Seasonal trends in energy, water, and carbon dioxide fluxes at a northern boreal wetland. *Journal of Geophysical Research*, 102, 29009–29020.
- Lafleur, P.M., Roulet, N.T. and Admiral, S.W., 2001. Annual cycle of CO₂ exchange at a bog peatland. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 106, 3071–3081. doi:10.1029/2000JD900588
- Lai, D.Y.F., Roulet, N.T., Humphreys, E.R., Moore, T.R. and Dalva, M., 2012. The effect of atmospheric turbulence and chamber deployment period on autochamber CO₂ and CH₄ flux measurements in an ombrotrophic peatland. *Biogeosciences Discussions* 9, 1439–1482. doi:10.5194/bgd-9-1439-2012
- Laine, A.M., Wilson, D., Alm, J., Schneider, J. and Tuittila, E.S., 2015. Spatial variation in potential photosynthesis in Northern European bogs. *Journal of Vegetation Science*. 27(2), 365–376. DOI: 10.1111/jvs.12355
- Levy, P.E. and Gray, a, 2015. Greenhouse gas balance of a semi-natural peatbog in northern Scotland. *Environmental Research Letters* 10, 94019. doi:10.1088/1748-9326/10/9/094019

- Limpens, J. and Berendse, F., 2003. How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing Sphagnum, *Oikos*, 103, 537–547, doi:10.1034/j.1600-0706.2003.12707.x.
- Long, K.D. and Flanagan, L.B., Cai, T., 2010. Diurnal and seasonal variation in methane emissions in a northern Canadian peatland measured by eddy covariance. *Global Change Biology* 16, 2420–2435. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.02083.x
- Lucchese, M., Waddington, J.M., Poulin, M., Pouliot, R., Rochefort, L. and Strack, M., 2010. Organic matter accumulation in a restored peatland: Evaluating restoration success. *Ecological Engineering* 36, 482–488. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.11.017
- Lund, M., Lindroth, A., Christensen, T.R. and Ström, L., 2009. Annual CO₂ balance of a temperate bog. *Tellus B* 59(5):804-811 804–811. doi:10.1111/j.1600-0889.2007.00303.x
- Lund, M., Lafleur, P.M., Roulet, N.T., Lindroth, A., Christensen, T.R., Aurela, M., Chojnicki, B.H., Flanagan, L.B., Humphreys, E.R., Laurila, T. and Oechel, W.C., 2010. Variability in exchange of CO₂ across 12 northern peatland and tundra sites. *Global Change Biology*, 16(9), pp.2436-2448.
- Lund, M., Christensen, T.R., Lindroth, A. and Schubert, P., 2012. Effects of drought conditions on the carbon dioxide dynamics in a temperate peatland. *Environmental Research Letters* 7, 45704. doi:10.1088/1748-9326/7/4/045704
- Lund, M., Bjerke, J.W., Drake, B.G., Engelsen, O., Hansen, G.H., Parmentier, F.J.W., Powell, T.L., Silvennoinen, H., Sottocornola, M., Tømmervik, H. Weldon, S and Rasse, D.P., 2015. Low impact of dry conditions on the CO₂ exchange of a Northern-Norwegian blanket bog. *Environmental Research Letters*, 10(2), p.025004.
- McVeigh, P., Sottocornola, M., Foley, N., Leahy, P. and Kiely, G., 2014. Meteorological and functional response partitioning to explain interannual variability of CO₂ exchange at an Irish Atlantic blanket bog. *Agricultural and Forest Meteorology* 194, 8–19. doi:10.1016/j.agrformet.2014.01.017
- Meijide, A., Manca, G., Goded, I., Magliulo, V., Di Tommasi, P., Seufert, G. and Cescatti, A., 2011. Seasonal trends and environmental controls of methane emissions in a rice paddy field in Northern Italy. *Biogeosciences* 8, 3809–3821. doi:10.5194/bg-8-3809-2011
- Moen, A., 1998. Nasjonalatlas for Norge. Vegetasjon. – Statens kartverk, Hønefoss.
- Moore, T.R. and Knowles, R., 1989. The influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peatland soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 69(1), pp.33-38.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D. and Lamarque, J.-F. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, eds. T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Nadeau, D.F., Rousseau, A.N., Coursolle, C., Margolis, H.A. and Parlange, M.B., 2013. Summer methane fluxes from a boreal bog in northern Quebec, Canada, using eddy covariance measurements. *Atmospheric Environment* 81, 464–474. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.09.044
- Nieveen, J.P., Campell, D.I., Schipper, L.A. and Blair, I.J., 2005. Carbon exchange of grazed pasture on drained peat soil. *Global Change Biology* 11, 607–618. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.00929.x
- Nilsson, M., Sagerfors, J., Buffam, I., Laudon, H., Eriksson, T., Grelle, A., Klemedtsson, L., Weslien, P.E.R. and Lindroth, A., 2008. Contemporary carbon accumulation in a boreal oligotrophic minerogenic mire—A significant sink after accounting for all C

- Nykänen, H., Heikkinen, J.E., Pirinen, L., Tiilikainen, K. and Martikainen, P.J., 2003. Annual CO₂ exchange and CH₄ fluxes on a subarctic palsamire during climatically different years. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(1).
- Oechel, W.C., Hastings, S.J., Vourlitis, G.L., Jenkins, M., Riechers, G. and Grulke, N., 1993. Recent change of arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. *Nature*, 361, 520–523.
- Olson, D.M., Griffis, T.J., Noormets, A., Kolka, R. and Chen, J., 2013. Interannual, seasonal, and retrospective analysis of the methane and carbon dioxide budgets of a temperate peatland. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(1), 226-238.
- Pearson, J and Stewart, G., 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *Transley Review no. 56. New Phytologist*, 125, 283-305.
- Pearson, J and Soares, A., 1995. A hypothesis of plant susceptibility to atmospheric pollution based on intrinsic nitrogen metabolism: why acidity really is the problem. *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 1227-1232.
- Petrescu, A.M.R., Lohila, A., Tuovinen, J.P., Baldocchi, D.D., Desai, A.R., Roulet, N.T., Vesala, T., Dolman, A.J., Oechel, W.C., Marcolla, B. and Friborg, T., 2015. The uncertain climate footprint of wetlands under human pressure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(15), 4594-4599.
- Petrone, R.M., Waddington, J.M. and Price, J.S., 2003. Ecosystem-scale flux of CO₂ from a restored vacuum harvested peatland. *Wetlands Ecology and Management*, 11(6), 419-432.
- Raghoebarsing, A. a, Smolders, A.J.P., Schmid, M.C., Rijpstra, W.I.C., Wolters-Arts, M., Derksen, J., Jetten, M.S.M., Schouten, S., Sinninghe Damsté, J.S., Lamers, L.P.M., Roelofs, J.G.M., Op den Camp, H.J.M. and Strous, M., 2005. Methanotrophic symbionts provide carbon for photosynthesis in peat bogs. *Nature* 436, 1153–6. doi:10.1038/nature03802
- Reddy, K.R., Feijtel, T.C. and Patrick Jr, W.H., 1986. Effect of soil redox conditions on microbial oxidation of organic matter. In *The role of organic matter in modern agriculture (117-156)*. Springer Netherlands.
- Regina, K., Budiman, A., Greve, M.H., Grønlund, A., Kasimir, Å., Lehtonen, H., Petersen, S.O., Smith, P. and Wösten, H., 2016. GHG mitigation of agricultural peatlands requires coherent policies. *Climate Policy*, 16(4), 522-541.
- Roulet, N.T., Lafleur, P.M., Richard, P.J., Moore, T.R., Humphreys, E.R. and Bubier, J.I.L.L., 2007. Contemporary carbon balance and late Holocene carbon accumulation in a northern peatland. *Global Change Biology*, 13(2), 397-411.
- Schulze, E.-D., 2006. Biological control of the terrestrial carbon sink. *Biogeosciences* 3, 147–166.
- Shannon, RD and White, JR., 1994. A three-year study of controls on methane emissions from two Michigan peatlands. *Biogeochemistry*, 27, 35-60.
- Shurpali, N.J., Verma, S.B., Kim, J. and Arkebauer, T.J., 1995. Carbon dioxide exchange in a peatland ecosystem. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D7), 14319-14326.
- Shurpali, N.J., HYVÖNEN, N.P., Huttunen, J.T., Clement, R.J., Reichstein, M., NYKÄNEN, H., Biasi, C. and Martikainen, P.J., 2009. Cultivation of a perennial grass for bioenergy on a boreal organic soil-carbon sink or source?. *GCB Bioenergy*, 1(1), 35-50.
- Silvan, N., Tuittila, E.-S., Kitunen, V., Vasander, H., Laine, J., 2005. Nitrate uptake by *Eriophorum vaginatum* controls N₂O production in a restored peatland. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 1519–1526. doi:10.1016/j.soilbio.2005.01.006
- Skiba, U., Jones, S.K., Drewer, J., Helfter, C., Anderson, M., Dinsmore, K., McKenzie, R., Nemitz, E. and Sutton, M.A., 2013. Comparison of soil greenhouse gas fluxes from extensive and intensive grazing in a temperate maritime climate. *Biogeosciences*, 10(2), 1231-1241.

- Soini, P., Riutta, T., Yli-Petäys, M. and Vasander, H., 2010. Comparison of Vegetation and CO₂ Dynamics Between a Restored Cut- Away Peatland and a Pristine Fen: Evaluation of the Restoration Success *Restoration Ecology*, 18(6), 894-903
- Stamp, I., Baird, A.J. and Heppell, C.M., 2013. The importance of ebullition as a mechanism of methane (CH₄) loss to the atmosphere in a northern peatland. *Geophysical Research Letters*, 40(10), pp.2087-2090.
- Strack, M., Waller, M.F., Waddington, J.M., 2006. Sedge Succession and Peatland Methane Dynamics: A Potential Feedback to Climate Change. *Ecosystems* 9, 278–287. doi:10.1007/s10021-005-0070-1
- Strack, M. and Zuback, Y.C.A., 2013. Annual carbon balance of a peatland 10 yr following restoration. *Biogeosciences*, 10(5), 2885-2896.
- Strack, M., Keith, A.M. and Xu, B., 2014. Growing season carbon dioxide and methane exchange at a restored peatland on the Western Boreal Plain. *Ecological Engineering*, 64, 231-239.
- Strack, M., Cagampan, J., Hassanpour Fard, G., Keith, A.M., Nugent, K., Rankin, T., Robinson, C., Strachan, I.B., Waddington, J.M. and Xu, B., 2016 Controls on plot-scale growing season CO₂ and CH₄ fluxes in restored peatlands: Do they differ from unrestored and natural sites? *Mires and Peat*, 17(05), 1- 18. (Online: <http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map17/map1705.php>); 10.19189/MaP.2015.OMB.216
- Strilesky, S.L. and Humphreys, E.R., 2012. A comparison of the net ecosystem exchange of carbon dioxide and evapotranspiration for treed and open portions of a temperate peatland. *Agricultural and forest meteorology*, 153, 45-53.
- Tuittila, E.S., Komulainen, V.M., Vasander, H. and Laine, J., 1999. Restored cut-away peatland as a sink for atmospheric CO₂. *Oecologia*, 120(4), pp.563-574.
- Tuittila E.-S., Komulainen V.-M., Vasander H., Nykänen H. Martikainen P.J. and Laine J. 2000. Methane dynamics of a restored cut-away peatland. *Global Change Biology* 6: 569–581
- Turetsky, M.R. (2003) The role of bryophytes in carbon and nitrogen cycling. *Bryologist*, 106, 395–409.
- Turunen, J., E. Tomppo, K. Tolonen, and Reinikainen, A., 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland—application to boreal and subarctic regions. *The Holocene* 12. SAGE Publications: 69–80. doi:10.1191/0959683602hl522rp.
- Urbanová, Z., Pícek, T., Hájek, T., Buřková, I. and Tuittila, E.S., 2012. Vegetation and carbon gas dynamics under a changed hydrological regime in central European peatlands. *Plant Ecology & Diversity*, 5(1), 89-103.
- Vanselow-Algan, M., Schmidt, S.R., Greven, M., Fiencke, C., Kutzbach, L. and Pfeiffer, E.M., 2015. High methane emissions dominate annual greenhouse gas balances 30 years after bog rewetting. *Biogeosciences Discussions*, 12, 2809-2842.
- Veenendaal, E.M., Kolle, O., Leffelaar, P.A., Schrier-Uijl, A.P., Van Huissteden, J., Van Walsem, J., Möller, F. and Berendse, F., 2007. CO₂ exchange and carbon balance in two grassland sites on eutrophic drained peat soils. *Biogeosciences Discussions*, 4(3), 1633-1671.
- Waddington, J.M. and Price, J.S., 2000. Effect of peatland drainage, harvesting, and restoration on atmospheric water and carbon exchange. *Physical Geography*, 21(5), 433-451.
- Waddington, J.M. and Day, S.M., 2007. Methane emissions from a peatland following restoration. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G3).

- Waddington, J.M., Strack, M. and Greenwood, M.J., 2010. Toward restoring the net carbon sink function of degraded peatlands: Short ^z exchange to ecosystem ^{CO₂} -scale restoration
Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 115(G1).
- Wilson, D., Alm, J., Laine, J., Byrne, K.A., Farrell, E.P. and Tuittila, E.S., 2009. Rewetting of Cutaway Peatlands: Are We Re ^{CO₂} -Creating Hot Spots?
 806.
- Wilson, D., Tuittila, E.S., Alm, J., Laine, J., Farrell, E.P. and Byrne, K.A., 2007. Carbon dioxide dynamics of a restored maritime peatland. *Ecoscience*, 14(1), pp.71-80.
- Wilson, D., Farrell, C., Mueller, C., Hepp, S. and Renou-Wilson, F., 2013. Rewetted industrial cutaway peatlands in western Ireland: a prime location for climate change mitigation. *Mires Peat*, 11(1), 1-22.
- Wilson, D., Farrell, C.A., Fallon, D., Moser, G., Müller, C. and Renou ^{CO₂} -Wilson, F., 2013. Rewetted industrial cutaway peatlands in western Ireland: a prime location for climate change mitigation. *Mires Peat*, 11(1), 1-22.
- Yli-Petäys, M., Laine, J., Vasander, H. and Tuittila, E.S., 2007. Carbon gas exchange of a re-vegetated cut-away peatland five decades after abandonment. *Boreal environment research*, 12(2).
- Yrjälä K, Tuomivirta T, Juottonen H, Putkinen A, Lappi K, Tuittila E-S, Penttilä T, Minkkinen K, Laine J, and Peltoniemi, K., 2011. CH₄ production and oxidation processes in a boreal fen ecosystem after a long-term water table drawdown. *Global Change Biology* 17:1311–1320

Appendix 1. Litteraturverdier

Tabell 1. Litteraturverdier basert på studier i naturlig myr.

Forfattere	Myrtype	Lokalitet	Region	Land	Karbongasser		Klimagasser		GWP
					mg CO ₂ -C m ⁻² hr ⁻¹	mg CH ₄ C m ⁻² hr ⁻¹	CO ₂ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹	GWP – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹
Aurela et al. 2009	Jordvannsmyr	Lompolojännkä, Finland	Boreal	Finland	-4 (±3)	1.7 (±0.2)	-13 (±10)	65 (±8)	51.6 (±17)
Beetz et al. 2013	Nedbørsmyr	Atlantisk høymyr - restaurert	Temperert	Tyskland	-6 (±11)	0.5 (±0.1)	-21 (±39)	19 (±3)	-2.2 (±42)
Desai 2014	Skog	Park Falls, WI, WLEF	Temperert	USA	0.2 (±2)	0.1 (±0)	1 (±9)	3 (±1)	4.3 (±9)
Drewer et al. 2010	Nedbørsmyr	Auchencorth Moss	Temperert	Scotland	-12 (±3)	0.03 (±0)	-46 (±9)	1 (±0)	-44.3 (±10)
Drewer et al. 2010	Jordvannsmyr	Lompolojännkä	Boreal	Finland	-2 (±2)	1.7 (±0.3)	-9 (±7)	64 (±10)	54.8 (±17)
Flanagan & Syed 2011	Skog	Western peatland of FLUXNET	Boreal	Canada	-19 (±9)	0.3	-68 (±33)	10 (±0)	-57.9 (±33)
Helfter et al. 2014	Nedbørsmyr	Auchencorth Moss	Temperert	Scotland	-7 (±4)		-27 (±14)		
Hommeltenberg et al. 2014	Skog	Nedbørsmyr, furuskog	Temperert	Germany	-7		-26		
Humphreys et al. 2014	Nedbørsmyr		Boreal	Canada	-6		-23		
Humphreys et al. 2014	Nedbørsmyr		Temperert	Canada	-6		-21		
Jackowicz-Korczynski et al. 2010	Nedbørsmyr	Stordalen, Sverige	Boreal	Sverige	-5	2.1	-17 (±0)	78 (±0)	61.6 (±0)
Koehler et al 2011	Nedbørsmyr	Glencar, Irland	Temperert	Irland	-7 (±2)	0.4	-27 (±6)	16 (±2)	-10.8 (±8)
Kurbatova J, et al. 2013	Skog	Fyodorovskoye (±Ru-Fyo), Russland	Temperert	Russland	5 (±7)	-0.001	20 (±25)	-0.1 (±0)	19.6 (±25)
Lai et al 2012	Nedbørsmyr	Mer Bleue, Canada	Temperert	Canada	-9 (±3)	0.9 (±0)	-34 (±11)	34 (±4)	-0.7 (±15)
Levy & Gray 2015	Nedbørsmyr	Flow county	Temperert	Scotland	-13	0.5	-48	18	-29.3
Lund et al 2012	Nedbørsmyr	Fäjemyr, Sverige	Temperert	Sverige	-1 (±3)	0.4 (±0)	-5 (±10)	13 (±3)	8.3 (±14)
Lund et al 2015	Nedbørsmyr	Ombrotrof nedbørsmyr	Boreal	Norge	-2 (±2)		-8 (±7)		
Lund et al. 2007	Nedbørsmyr	Fajemyr eksentrisk nedbørsmyr	Temperert	Sverige	0.02 (±3)		0.1 (±10)		
McVeigh et al. 2014	Nedbørsmyr	Glencar	Temperert	Ireland	-6 (±2)		-23 (±7)		
Nilsson et al. 2008	Jordbansmyr	Degero Stormyr	Boreal	Sweden	-6 (±0)	1.3 (±0)	-22 (±1)	49 (±11)	27.5 (±12)
Olson et al. 2013	Nedbørsmyr		Temperert	USA	-6 (±3)		-22 (±13)		
Roulet et al. 2007	Nedbørsmyr	Mer Bleue	Temperate	Canada	-5		-17		
Shurpali et al. 1995	Nedbørsmyr		Temperert	USA	2 (±6)		8 (±22)		

Forfattere	Myrtype	Lokalitet	Region	Land	Karbongasser		Klimagasser		GWP
					mg CO ₂ -C m ⁻² hr ⁻¹	mg CH ₄ C m ⁻² hr ⁻¹	CO ₂ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹	CH ₄ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹	GWP – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹
Skiba et al. 2013	Nedbørsmyr	Auchencorth Moss, Scotland	Temperate	Scotland	-8 (±5)	0.02 (±0)	-30 (±17)	1 (±1)	-29.6 (±18)
Soini et al. 2010*	Jordvannsmyr		Boreal	Finland	-28 (±19)		-102 (±69)		
Strack & Zuback 2013	Torvuttak	Bois-des-bel - torvuttak	Temperert	Canada	28 (±19)	0.8 (±1)	102 (±70)	28 (±23)	130.3 (±94)
Strilesky and Humphreys 2012	Nedbørsmyr		Temperert	Canada	-12		-44		
Tiemeyer et al. 2013	Skog	Spreewald, Tyskland	Temperert	Germany	-40 (±7)	0.0	-147 (±24)	1 (±0)	-145.7 (±24)
Urbanová 2012*	Nedbørsmyr		Temperert	Tsjekkia	-75 (±7)	2.4 (±0)	-273 (±27)	89 (±9)	-184.7 (±37)
Urbanová 2012*	Jordvannsmyr		Temperert	Tsjekkia	-29	25.2	-106	941	834.4
Waddington & Price 2000	Torvuttak		Temperert	Canada	16	0.3	58	11	68.4

*Basert på sesongmessige målinger

Tabell 2. Litteraturverdier basert på studier i restaurertmyr.

Forfattere	Myrtype	Lokalitet	Region	Land	NEE – mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹		mg CH ₄ -C m ⁻² h ⁻¹		CO ₂ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹		CH ₄ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹		GWP – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹	
					Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert
Beetz et al. 2013	Nedbørsmyr	Atlantisk høymyr	Temperert	Tyskland	47 (±26)	-2 (±23)	0 (±0)	0.1 (±0)	174 (±97)	-8 (±83)	1 (±1)	4 (±2)	174 (±98)	-4 (±85)
Cooper et al. 2014	Nedbørsmyr	Teppemyr	Temperert	Storbritannia			0.5	1			19	32	19	32
Aslan-Sungura et al. 2016	Grasmark	Landbruk Sherman	Temperert	Tyrkia	40 (±17)				146 (±61)					
Hatala et al. 2012	Grasmark	Island, CA Sherman	Temperert	USA	27 (±7)		0.3 (±0)		99 (±26)		11 (±3)		110 (±29)	
Hatala et al. 2012	Rismark	Island, CA Sherman	Temperert	USA		-21 (±11)		1 (±0)		-77 (±42)		19 (±7)		-58 (±49)
Hendriks et al. 2007	Grasmark	Horstermeer	Temperert	Nederland		-36 (±7)		4 (±2)		-130 (±24)		133 (±87)		3 (±111)
Herbst et al. 2013	Grasmark	Dyrket	Temperert	Danmark		-16 (±10)		1 (±0)		-59 (±38)		45 (±7)		-14 (±45)
Karki et al. 2016	Jordvannsmyr	Dyrket	Temperert	Danmark	0	-59	0	1		-217	1	21	1 (±0)	-196
Koebisch et al. 2013a	Torvuttak	Rodewiese - Torvuttak	Temperert	Tyskland		-0.5 (±0)		0.2 (±0)		-2 (±0)		6 (±5)		4 (±5)
Koebisch et al. 2013b	Torvuttak	Rodewiese - Torvuttak	Temperert	Tyskland				0.2 (±0)				6 (±5)		6 (±5)
Komulainen et al. 1998 & 1999*	Nedbørsmyr	Konilamminsuo mire & Viheriisenneva	Boreal	Finland	-1	-20 (±6)	1 (±0)	6 (±1)	-3	-74 (±22)	25 (±6)	208 (±51)	22 (±6)	134 (±73)
Komulainen et al. 1998 & 1999*	Jordvannsmyr	Konilamminsuo mire & Viheriisenneva	Boreal	Finland	-16	-58 (±16)	0 (±0)	2 (±1)	-57	-212 (±58)	4 (±5)	74 (±34)	-53 (±5)	-139 (±92)
Meijide et al. 2011	Rismark	Castellaro, Italy	Temperert	Italia		-42 (±1)		2 (±1)		-154 (±3)		93 (±26)		-61 (±29)
Nieveen et al. 1998	Grasmark	Fochteloer	Temperert	Nederland	11									
Petrone et al. 2003	Torvuttak	Bois-des-bel	Temperert	Canada		128 (±29)				468				
Shurpali et al. 2009	Grasmark	Linnansuo, Finland	Boreal	Finland	-11 (±9)		0.0 (±0)		-42 (±32)					
Soini et al. 2010*	Jordvannsmyr		Boreal	Finland		-36 (±29)				-130 (±107)				
Strack & Zuback 2013	Torvuttak	Bois-des-bel	Temperert	Canada	59 (±39)	16 (±13)	0.1 (±0)	0.2 (±0)	216 (±143)	59 (±47)	3 (±8)	6 (±10)	219 (±151)	65 (±56)
Strack et al. 2014	Torvuttak	Ombrotrof nedbørsmyr	Boreal	Canada	105 (±72)	-22 (±28)	-0.1 (±0)	6 (±6)	385 (±264)	-79 (±101)	-3 (±2)	229 (±231)	382 (±266)	150 (±332)
Tuittila et al. 1999*	Torvuttak		Boreal	Finland	19 (±7)	-10 (±10)			71 (±27)	-35 (±38)				
Urbanová 2012*	Nedbørsmyr		Temperert	Tjekkia	-46 (±42)	-41 (±9)	1 (±1)	1 (±1)	-169 (±152)	-151 (±33)	24 (±26)	39 (±29)	-145 (±178)	-112 (±62)

Forfattere	Myrtype	Lokalitet	Region	Land	NEE – mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹		mg CH ₄ -C m ⁻² h ⁻¹		CO ₂ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹		CH ₄ – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹		GWP – mg CO ₂ ekv m ⁻² h ⁻¹											
					Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert	Drenert	Restaurert										
Urbanová 2012*	Jordvannsmyr		Temperert	Tjekkia	-29	(±27)	0.2	(±0)	-106	(±100)	8	(±8)	-98	(±108)										
Vanselow-Algan et al. 2015	Torvuttak	Nedbørsmyr	Temperert	Tyskland	83	(±8)	34	(±4)	0.0	(±0)	8	(±2)	306	(±28)	124	(±15)	1	(±2)	314	(±89)	307	(±30)	438	(±103)
Veenendaal et al. 2007	Grasmark	Oukoop	Temperert	Nederland	15	(±0)			1	(±0)			56	(±0)			50	(±8)			107	(±8)		
Waddington & Price 2000	Torvuttak		Temperert	Canada	41		19		0.1		0		152		71		5		1		157		72	
Waddington et al. 2010*	Torvuttak	Bois-des-bel	Temperert	Canada	31	(±9)	-4	(±1)					112	(±32)	-16	(±5)								
Yli-Petäys et al. 2007	Torvuttak		Boreal	Finland			-30	(±24)			8	(±5)			-110	(±86)			285	(±202)			175	(±288)

*Verdier basert på sesongmessige estimater

Tabell 3. Litteraturverdier fra studier med fokus på vegetasjonsforskjeller.

Forfattere	Myrtype	Region	Lan	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹			mg CH ₄ -C m ⁻² h ⁻¹			
				Bar	Eriophorum	Sphagnum	Bare	Eriophorum	Sphagnum	
Bortoluzzi et al. 2006	Nedbørsmyr	Fjellmyr	Temperert	Frankrike	3 (±1)	-12 (±5)	-16 (±4)	0 (±0)	0.3 (±0)	0.2 (±0)
Kivimäki et al. 2008	Nedbørsmyr	Torvuttak	Boreal	Finland	5 (±3)	-8 (±5)	-15 (±6)			
Waddington et al. 2007 & 2010*	Torvuttak	Bois-des-bel	Temperert	Canada	9 (±5)	-11 (±7)	4 (±4)	0 (±0)	-0.02 (±0)	0.02 (±0)
Wilson et al 2016	Torvuttak	Bellacorick	Temperert	Irland	16 (±1)	-30 (±20)	-10 (±12)	0 (±0)	1 (±0)	1 (±1)
Wilson et al. 2007 & 2008	Torvuttak	Turraun	Temperert	Irland	32 (±3)	33 (±14)		0 (±0)	0.3 (±0)	
Wilson et al. 2013	Torvuttak	Bellacorick	Temperert	Irland	6 (±2)	-40 (±21)	-10 (±6)	0 (±0)	1 (±0)	1 (±0)
					CO ₂ – mg CO ₂ ekvivalenter m ⁻² h ⁻¹			CH ₄ – mg CO ₂ ekvivalenter m ⁻² h ⁻¹		
					Bare	Eriophorum	Sphagnum	Bare	Eriophorum	Sphagnum
Bortoluzzi et al. 2006					10 (±2)	-46 (±17)	-60 (±16)	2 (±1)	11 (±4)	7 (±4)
Kivimäki et al. 2008					19 (±11)	-29 (±19)	-55 (±23)			
Waddington et al. 2010*					31 (±17)	-42 (±26)	13 (±15)	0 (±1)	-1 (±1)	1 (±2)
Wilson et al 2016					58 (±5)	-109 (±75)	-35 (±43)	0 (±0)	23 (±13)	49 (±39)
Wilson et al. 2007 & 2008					118 (±11)	120 (±51)		-0.2 (±0)	12 (±2)	
Wilson et al. 2013					22 (±9)	-146 (±76)	-37 (±23)	0.5 (±0)	22 (±0)	42 (±7)
					GWP – mg CO ₂ ekvivalenter m ⁻² h ⁻¹					
					Bare	Eriophorum	Sphagnum			
Bortoluzzi et al. 2006					12 (±3)	-35 (±21)	-54 (±20)			
Waddington et al. 2010*					31 (±17)	-42 (±26)	13 (±15)			
Wilson et al 2016					58 (±5)	-86 (±88)	14 (±82)			
Wilson et al. 2007 & 2008					118 (±11)	131 (±53)				
Wilson et al. 2013					22 (±9)	-123 (±76)	5 (±31)			

*Verdier basert på sesongmessige estimater

NOTATER

NOTATER

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.