

Jord, drenering, klimagassutslepp

- effekt av ulike agronomiske tiltak



NIBIO
NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI



**Norsk
Landbruksrådgiving**



NORSØK
Norsk senter for økologisk landbruk

Føreord

Dreneringstilstand- og drenering av dyrka jord er to sentrale forhold som vedkjem både agronomi og miljø. Dreneringstilstanden er avgjerande for arealproduktiviteten i landbruket, og for at produksjonen skal vere så miljøvenleg som råd. Dreneringstilstanden har innverknad på driftsvilkåra og kor årsikker produksjonen i landbruket kan vera. Endra klima med meir nedbør, og meir nedbør også i veksetida, er noko som kan dokumenterast i den seinaste 30-års normalperioden (1991-2020) som snart er komplett. Auka nedbør framover er venta, slår klimaforskarane fast i framskrivingar.

Situasjonsomtalen må føra til gjennomslag i handling, ved trong må omfanget av ny drenering aukast. Det som føreligg av opplysningar om kor mykje av dyrka areal i Noreg som ikkje har tilfredsstillande dreneringstilstand er frå Jordbruksteljinga i 2010, der bøndene i svar på tillegsspørsmål gjev samla opplysning om at 8 % av dyrka areal ikkje er tilfredsstillande drenert. Truleg er det eit for lågt estimat. Årleg drenering av dyrka areal er no mindre enn halvdelen av kva det var før 1985.

Fagheftet er ei samling av artiklar om jordfysisk tilstand og karbon i jord, om drenering og korleis drenering verkar på agronomi og samspelet i skjeringspunktet mellom agronomi og miljø. Utsleppet av klimagassar, og korleis det kan påverkast av dreneringstilstand og driftsmåte vert omhandla. Dei fleste artiklane er publiserte i Bondevennen frå mars til november 2020. Artiklane byggjer på resultat blant anna frå forskingsprosjekta Drainimp, Peatinvert, Protein Rich Forage, Longterm-grass, Migmin, Magge-pH og på Nasjonalt program for jordsmonnkartlegging. Forskingsprosjekta var finansiert av Norges Forskningsråd/Forskingsmidlar for jordbruk og matindustri og Horizon 2020. Landbruksnæringa og landbrukstilknytte verksemd (TINE, regionale samarbeidsråd i landbruket, FK Agri, FKRA, Pipelife), Stiftelsen fondet for jord- og myrundersøkelser, Fylkesmannen og fylkeskommunen i ei rekkje fylke var medfinansiarar.

Formidlingsprosjektet, som dette heftet er ein del av, er støtta av Landbruksdirektoratet sitt Klima- og miljøprogram. Dette omfattar både nasjonale og fylkesvise midlar frå Hordaland og Sogn og Fjordane, no Vestland. Både forskingsprosjekta og formidlingsprosjektet er samarbeid mellom ulike avdelingar i NIBIO, NMBU, NLR og NORSØK. Formidlingsprosjektet er leia frå NIBIO Fureneset.

Målet er at artiklane i dette heftet gjev fagleg forståing og grunnlag for tiltak for betre drenering og driftsvilkår, større arealproduktivitet og redusert utslepp av klimagassar. Artikkelsamlinga i heftet Drenering -Teori og praksis 2013 (<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2445537>) har ei praktisk tilnærming til ulike problemstillingar ved drenering, medan denne har meir fokus på forskingsresultat. Det er ei offensiv målsetjing i den inngåtte klimaavtalen mellom landbruket og Regjeringa, der fleire av punkta er knytt til jordkultur, plantekultur og fôrkvalitet. Dette er ting som heng saman, og der jordkapitalen er grunnlaget.

Heftet er produsert av Bondevennen SA i samarbeid med NIBIO Fureneset.

Fureneset, november 2020.

Synnøve Rivedal

e-post: synnove.rivedal@nibio.no
tlf.: 975 85 474

Samson Øpstad

e-post: samson.opstad@nibio.no
tlf.: 406 21 871

Innhold

Klimagassutslepp frå jordbruket.....	4
Trongen for drenering.....	6
Forsøk med ulik dreneringsintensitet.....	10
Aurhelle som sperrelag.....	13
Verknad av grøfteavstand og drift på engavling og nitrogenutnytting	14
Drenering, lystgass og metan.....	16
Profilering og omgraving.....	18
Omgraving av tidlegare dyrka myr som treng ny drenering	20
Omgraving av grøfta myr som klimatiltak.....	24
Moldinnhald i jord, samanheng mellom driftsmåte og klima	26
Auka karbonbinding i jordbruksjord	28
Kva betyr pH og kalking på utslepp av klimagassar?	30
Redusert jordpakking, eit godt klimatiltak.....	32
Kan gjødsling med husdyrgjødsel bli meir klimavenleg?	34
Hvordan påvirker kløver lystgassutslipp fra eng?.....	36
Takk til alle som har bidratt	38
Aktuell litteratur	39



Klimagassutslepp frå jordbruket

Klimagassutsleppet frå jordbruket er estimert til rundt 4,4 millionar tonn CO₂-ekvivalentar og utgjer rundt 9% av totale norske utslepp. Det er lystgass (N₂O) som er den viktigaste klimagassen frå jordbruksareal.

Synnøve Rivedal (NIBIO), Sissel Hansen (NORSØK) og Peter Dörsch (NMBU)

Norge rapporterer kvart år sine klimagassutslepp til FN etter retningslinjer fastsett av klimapanelet (IPCC). Det er Miljødirektoratet og SSB som har det nasjonale ansvaret for rapportering. I 2019 rapporterte Norge eit totalt utslepp på rundt 50 millionar tonn CO₂-ekvivalentar. Utsleppa har gått ned med rundt 6% sidan 1990. Klimagassutsleppa frå jordbruket vart i 2019 rekna til 4,4 mill tonn og utgjer rundt 9% av totale utslepp rekna om til CO₂-ekvivalentar. Det vil seie effekt på global oppvarming tilsvarande CO₂. Det skuldast metan (CH₄) frå drøvtyggarar og lagring av husdyrgjødsel (58%), lystgass (N₂O) hovudsakeleg frå gjødsling (40%) og CO₂ frå kalking og bruk av urea (2%). Forbrenning av olje og diesel blir ført under energisektoren, og CO₂-utslepp frå jordbruksareal blir rapportert under kategorien arealbruk, arealbruksendring og skog (LULUCF). Innanfor jordbruket er det dermed mest fokus på metan- og lystgassutslepp.

Metan

Mykje av jordbruket sitt metanutslepp stammar frå husdyra si fordøying (2,3

mill. tonn CO₂-ekv. per år), og det er drøvtyggarar (storfe og småfe) som har størst utslepp. Bete grovfôrkvalitet er eit av tiltaka for å redusere utsleppa. Lagring av husdyrgjødsel under anaerobe forhold er også ei kjelde til metanutslepp, og dette

«Bete grovfôrkvalitet er eit av tiltaka for å redusere utsleppa.»

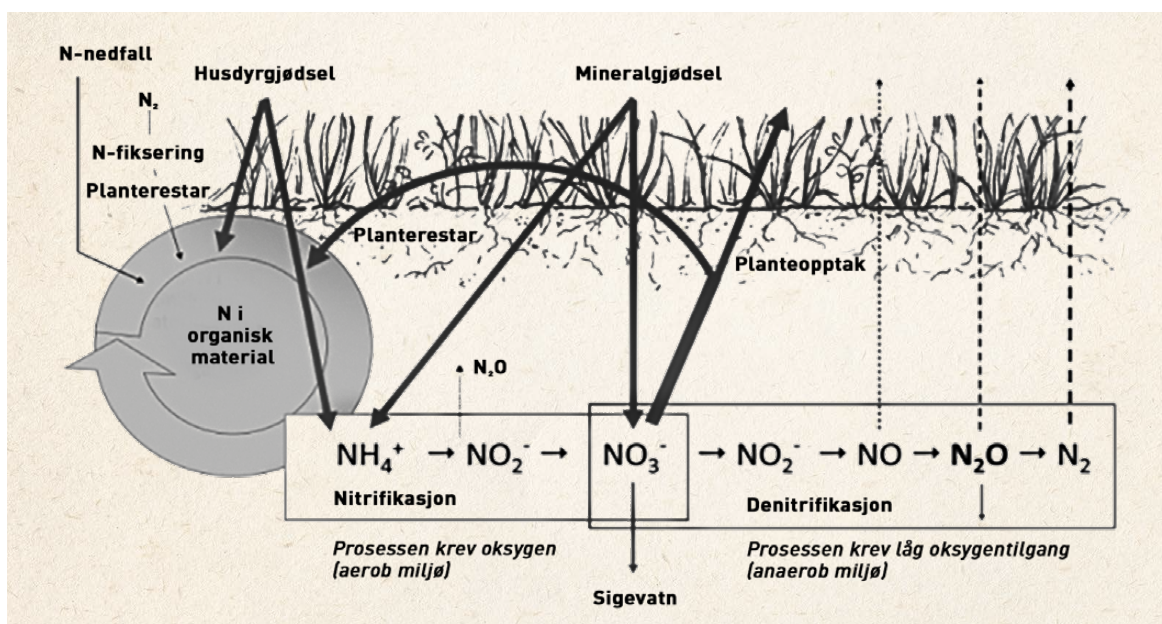
utsleppet er rekna til rundt 0,3 mill. tonn CO₂-ekv. per år. Høgt innhald av organisk materiale i kombinasjon med anaerobe forhold kan også gje metanutslepp direkte frå jord. Det er rapportert utslepp frå organisk jord under LULUCF-sektoren, men ikkje frå mineraljord.

Lystgass

Det er lystgass som er den viktigaste klimagassen frå jordbruksareal. Dei største kjeldene til lystgassutslepp er nitrogen (N) i husdyrgjødsel og handelsgjødsel (rundt 1,1 mill. tonn CO₂-ekv. per år). I tillegg reknar ein med eit visst lystgassutslepp frå nedbryting av organisk materiale ved jordbruksdrift på myrjord (rundt 0,4 mill. tonn CO₂-ekv. per år) og eit mindre utslepp frå nedbryting av tilbakeførte planterestar. Lystgassutsleppa frå N i gjødsel kan delast opp i direkte utslepp frå jord som har fått tilført gjødsel, og indirekte utslepp frå nitrogen som har fordampa som ammoniakk eller frå nitrattutvasking.

Direkte lystgassutslepp

Direkte lystgassutslepp skjer dersom nitrogenet i tilført gjødsel blir mikrobielt omdanna ved nitrifikasjon eller denitrifikasjon i jorda (Fig. 1). Under norske forhold har ein størst produksjon av lystgass gjennom denitrifikasjon. For å estimere direkte lystgassutslepp brukar Norge IPCC (2006) sin standard utsleppsfaktor på 0,01 kg N₂O-N/kg N tilført (1%), men i



Figur 1. Produksjon og utslepp av lystgass (N₂O) i jord. Etter Henriksson m.fl. 2015.



Feltarbeid: Innstallasjon og utprøving av utstyr for måling av klimagassutslepp på grøfta og omgravd myr på Fræna i Møre og Romsdal.
Foto: Synnøve Rivedal.

praksis er det stor variasjon i utsleppa. Faktorar som verkar på lystgassutsleppet er mengde tilført nitrogen, tilgjengeleg organisk karbon, pH, oksygen- og vassinnhald i jorda. Naturgjevne forhold som klima (temperatur og nedbør) og jordsmonn (tekstur og organisk materiale) kan i liten grad påverkast. Tiltak som kan påverke lystgassutsleppa er tilpassa N-gjødsling, kalking, drenering og redusert jordpakking. Nitrogen tilført gjennom biologisk fiksering ved bruk av belgvekstar er gjennom vekstsesongen mindre utsett for omdanning til lystgass enn ammoniumnitrat frå handsgjødsel. Belgvekstar er derimot utsette for tap av lystgass i vinterhalvåret. Nitrogen i husdyrgjødsel er mindre utsett for å bli direkte omdanna til lystgass enn nitrogen i handsgjødsel, sidan det lettlyselege nitrogenet i husdyrgjødsel føreligg berre som ammonium og ikkje nitrat. Ammoniumnitrogen blir omdanna til nitrat i jorda. I samband med dette blir det utslepp av lystgass.

Indirekte lystgassutslepp

Nitrogen som går tapt gjennom fordam-

ping til luft i form av ammoniakk (NH_3) og nitrogenoksid (NO_x) kan etter nedfall føre til lystgassutslepp. Også nitrogen tapt ved avrenning kan i neste omgang føre til utslepp av lystgass. Tiltak som reduserer nitrogentap til luft og vatn reduserer dei indirekte lystgassutsleppa. Like viktig er det at betre utnytting av tilført nitrogen reduserer den totale N-bruken. Eit av dei viktigaste tiltaka i så måte er å redusere ammoniakk-tapet frå husdyrgjødsel, særleg ved spreining, der potensialet for reduksjon er størst. Det er også viktig å unngå spreining av husdyrgjødsel og jordarbeiding om seinsommaren og hausten for å redusere faren for avrenning og indirekte tap. Nytteverknaden av husdyrgjødsel er høgast i vårspreidd gjødsel. Redusert proteinføring og auka beiting for storfe vil redusere mengda nitrogen gjennom systemet og bidra til reduksjon i utsleppa.

Jordbruket sine mål

Regjeringa og næringsorganisasjonane i jordbruket har inngått ei intensjonsavtale om å redusere klimagassutsleppa med 5 millionar tonn i perioden 2021-

2030. Fordelt på ti år utgjer dette 500 000 CO_2 -ekv. per år. Kunnskap om korleis jordbruket kan redusere utsleppa er derfor viktig. Artikkane i dette heftet vil kunne gje ei betre forståing for korleis ein kan redusere nokre av utsleppa frå jordbruksareal. Det må understrekast at lystgassutslepp frå jord varierer svært mykje på korte avstandar i tid og rom. Det er derfor vanskeleg å estimere dei faktiske utsleppa og effekten av tiltak, og ein må vere forsiktig med å trekke raske konklusjonar på grunnlag av enkle forsøksresultat.

Gjeldande oppvarmingspotensial (GWP) for ulike klimagassar:

- 1 karbondioksid (CO_2) - ekvivalent = varmeeffekt av 1 kg CO_2
- 1 kg metan (CH_4) = 25 kg CO_2
- 1 kg lystgass (N_2O) = 298 kg CO_2

Trongen for drenering

- knytt til eigenskapar ved jordsmonnet, terrenget og til grunnvasstand

Mykje av jorda på Sør- og Vestlandet har dårlege dreneringseigenskapar. Dårlig vassleiingsevne, mykje organisk jord og mineraljord med høgt organisk innhald og periodevis høgt grunnvassnivå er dei vanlegaste årsakene. Driftsmåten kan forverre dreneringstilstanden.

Samson Øpstad og Siri Svendgård-Stokke (NIBIO)

Jordsmonnet sine eigenskapar og grunnvassnivået i jorda er avgjerande for luftvolum og luftveksling i jorda, og såleis for rotutvikling og grunnlaget for plantevekst. Me skil mellom naturleg dreneringstilstand og aktuell dreneringstilstand. Naturleg dreneringstilstand er i hovudsak bestemt ut frå kornstorleik, lagdeling i jorda og påverknad av grunnvasstand. Aktuell dreneringstilstand er i tillegg påverka av driftsmåte, og samspelet mellom driftsmåte og klima- eller vêrtilhøve over tid.

Det er gjort ei utvalskartlegging av jordsmonn på fulldyrka og overflatedyrka jord i Noreg. Utvalskartlegginga gjer at ein får eit estimat av jordsmonnet sine eigenskapar. Med opphav i kartlegginga er det publisert fylkesvise rapportar, og ein samlerapport for landet (Jordsmonnstatistikk Norge, NIBIO RAPPORT

4 (13) 2018, Roar Lågbu et al.). Under presenterer me utvalde resultat frå samlerapporten, og utdjuar utfordringar

«Det er etterslep når det gjeld utbetring og fornying av drenering.»

knytt til drenering og ulike årsaker til mangelfull dreneringstilstand.

Samla areal som inngår i samanstillinga er noko større enn dyrka areal i

drift. Det er vesentlege skilnader geografisk, både på kommune- og fylkesnivå m.o.t. skilnader mellom dyrka areal og dyrka areal i drift.

Gruppering av areal etter innhald av organisk materiale

Fullldyrka og overflatedyrka jord i Noreg er inndelt i seks klassar ut i frå mengde organisk materiale i overflatesjiktet og tjukne på eit eventuelt organisk lag. Diagrammet under (figur 1) viser korleis den prosentvise fordelinga er for seks regionar og for heile landet.

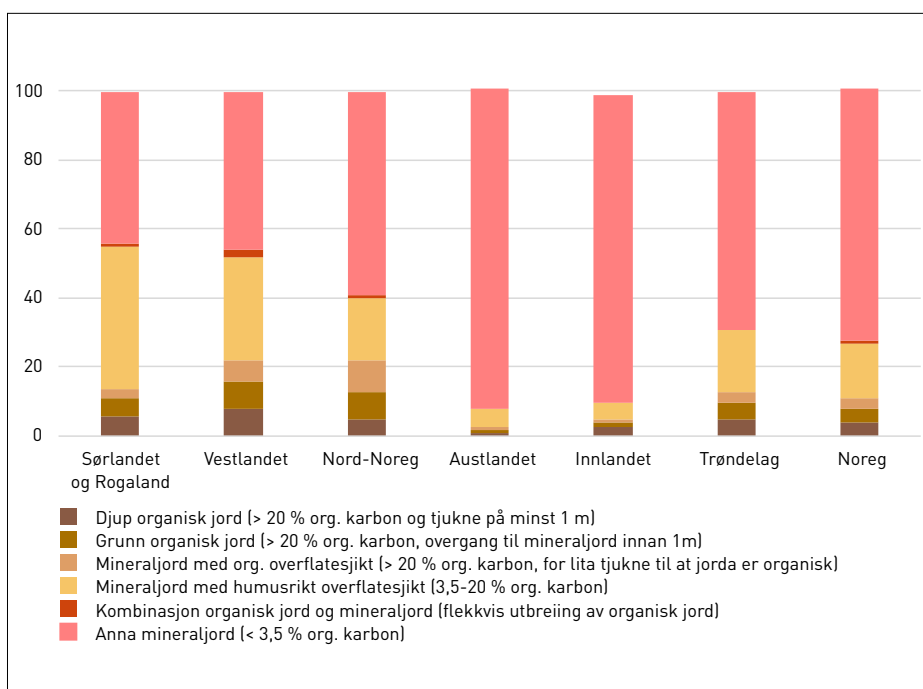
Diagrammet viser at det er langt meir organisk jord (både djup og grunn) i regionane Sørlandet og Rogaland, Vestlandet (Hordaland, Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal) og Nord-Noreg enn i dei andre regionane og i landet som heilskap. I tillegg er det og høgare del av jord med humusrikt overflatesjikt og med organisk overflatesjikt i desse regionane.

Jorda sitt innhald av organisk materiale har stor innverknad på fysiske, kjemiske og biologiske forhold i jorda. Organisk jord (torvjord/myr), og mineraljord med høgt innhald av organisk materiale vil medføre utfordringar for drifta av arealet, særleg i område med mykje nedbør. Organisk jord har høgt innhald av vatn og lita bereevne.

Areal med jord i alle klassane, unntakte klassa «Anna mineraljord», kan gje driftsmessige utfordringar, særleg i nedbørrike område og i kombinasjon med mineraljord med høgt innhald av silt og leir.

Verknad av kornfordeling på infiltrasjon og vasslagring

I mykje av det som er mineraljord på Vestlandet, og sameleis i delar av Nord-Noreg, er det høgt innhald av silt og dei finare graderingane av sand (mellomsand og finsand). Høgt innhald av silt gjer at jorda har stor evne til å halda på vatnet. Jorda er ofte tettpakka og lite



Figur 1: Estimert organisk materiale (i prosent av fulldyrka og overflatedyrka jord) for dei seks regionane og for heile landet. Etter Lågbu et al. (2018).

Krevjande:

Grøftegraving med profilskuffe. Organisk jord øverst og silthaldig lettleire under. Slik jord har låg infiltrasjonsevne for vatn, og er krevjande å drenera med tradisjonell røyrgrøfting åleine med godt resultat. Foto: Leif Trygve Berge, NLR Vest.

gjennomtrengelig både for vatn, luft og røter.

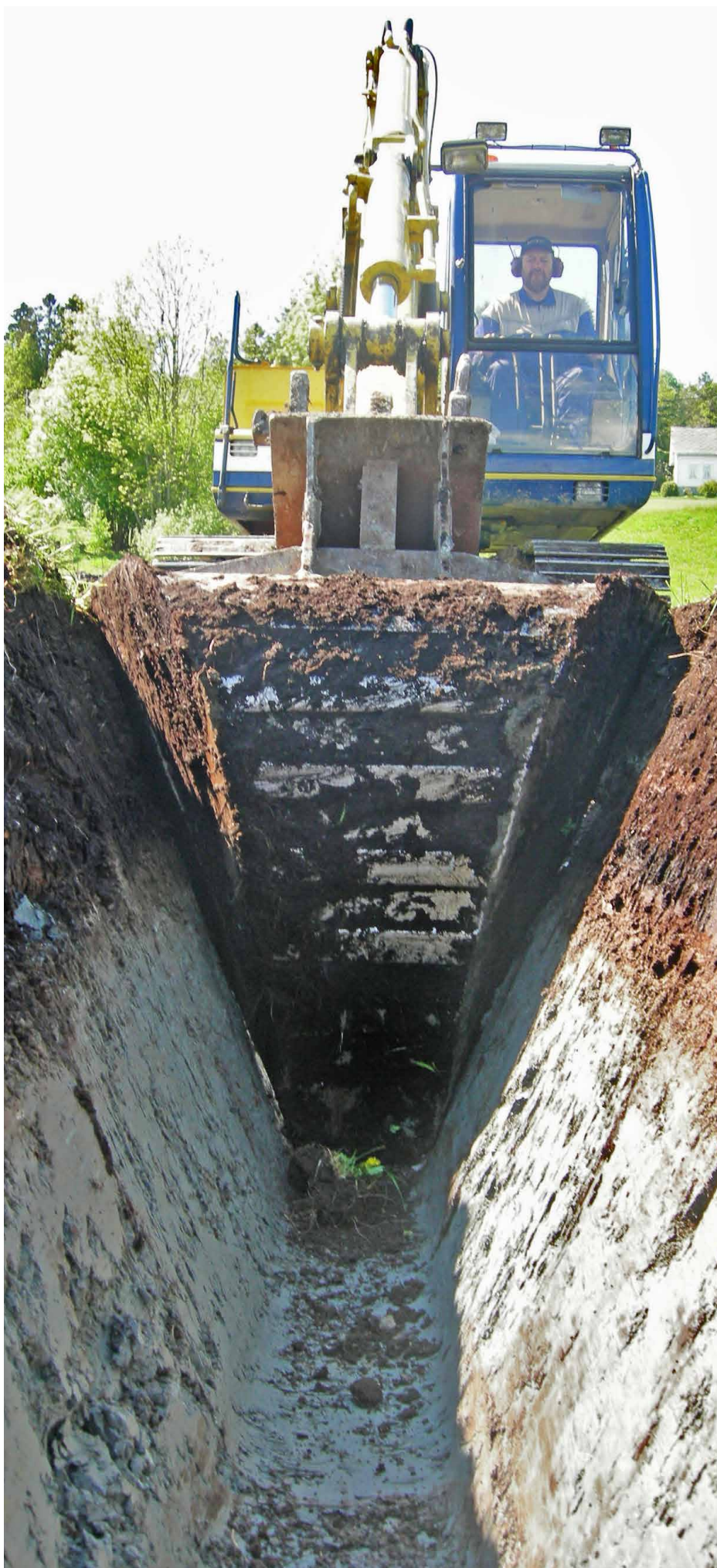
I slik jord er det ofte tunne og tette lag som tener som lagskilje. Lagskilje kan fungere som «sperrsjikt». I regnrrike periodar byggjer vatnet seg opp over lagskiljet, og opptørking av jorda går seinare. Opptørking av ei vassmetta jord går seinare på ettersomaren. Temperaturen er då lågare, planteveksten er redusert, og fordampinga og forbruket av vatn er lågare. I regnvêrsperiodane får jorda nytt påfyll av vatn, og grunnvasstanden vil stå høgt over tid. Under slike tilhøve er jorda utsett for pakking.

Gruppering av areal etter naturleg dreneringstilstand

Fulldyrka og overflatedyrka jord i Noreg er inndelt i fire klassar på bakgrunn av dreneringsforhold. Areal som heilt eller delvis inneheld jordsmonn med potensielle dreneringsproblem, vert delt inn i tre klassar etter dominerande helling. Den fjerde klassen er jordsmonn som er sjølvdrenerert. Inndeling av areala tek ikkje omsyn til aktuell grøftetilstand.

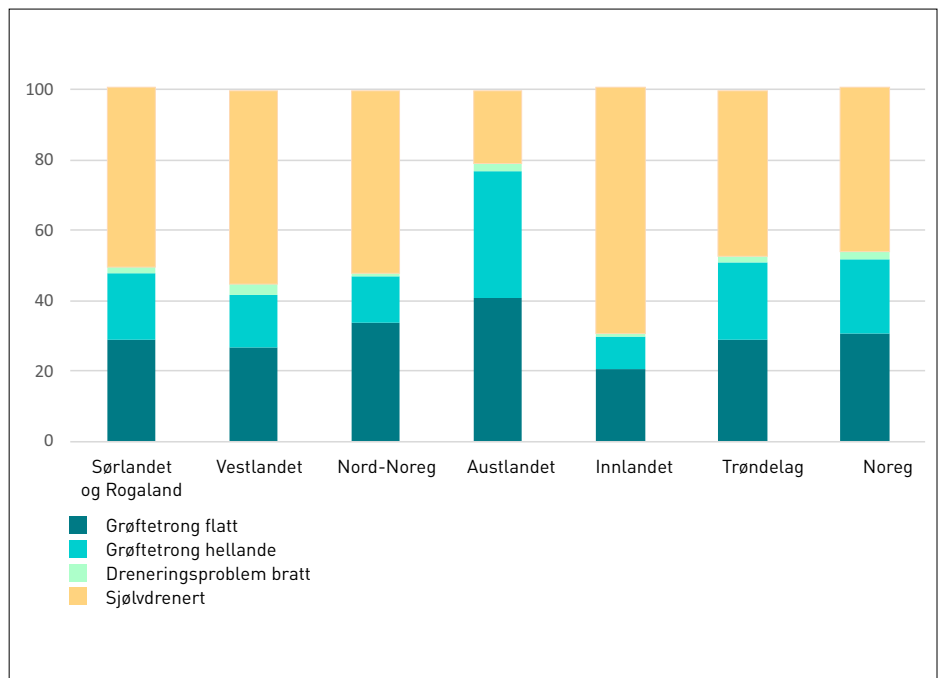
I regionane Sørlandet og Rogaland, Vestlandet og Nord-Noreg er i overkant av 50 prosent av jorda estimert til å vera sjølvdrenerert.

NIBIO-rapporten inndeler også areal etter hovudgrunnar til at dyrka jord har dårlege dreneringsegenskapar. For 26 prosent av dyrka areal i landet er det vurdert at dårleg vassleingsevne er hovudårsaka. Den andre hovudårsaka er periodevis høgt grunnvassnivå, som skuldast fleire forhold. I fylka langs kysten, frå Sør-Vestlandet og nordover, er grunnvasspåverka organisk jord vanlegaste årsak til naturleg dårleg dreneringstilstand. Klimatiske årsaker knytt til mykje nedbør er hovudgrunn. I Hedmark, og i høgareliggjande område i



innlandstrakter, er også grunnvasspåverka organisk jord vanleg. Grunnlendt jord er og årsak til særlege utfordringar for drenering, særleg på delar av Sør-Vestlandet og Vestlandet.

Areal karakterisert med dreneringsproblem og flaumutsett utgjør ein stor del av naturleg dårleg dreneringstilstand. Slike areal er vanleg i bredalføre, på elvesletter, øyror eller deltaområde. Mineraljorda her har ofte høgt innhald av silt og sand av dei finaste graderingane. Tilbakegang frå høg vasstand og eventuelt flaum let etter seg jord med høgt vassinnhald. Det tek tid å redusere vassinnhaldet. Område på Vestlandet, delar av Nord-Noreg og i innlandsområde, har omfattande areal med slike tilhøve og ulike dreneringstiltak er påkravde. Desse områda er også av dei som er mest utsette for overvintringsskade i eng grunna is- og vasskade, ved veksling mellom frost og mildvårsperiodar med regn.



Figur 2: Estimert dreneringsforhold (i prosent av fulldyrka og overflatedyrka jord) for dei seks regionane og for heile landet. Etter Lågbu et al. (2018)

Etterslep i drenering

Det er etterslep når det gjeld utbetring og fornying av drenering. Jordbruks- og fornying i 2010 hadde med spørsmål om dreneringstilstand, og svara var at åtte prosent av dyrka areal trong drenering, for fylka på Vestlandet åtte-ti prosent. Sannsynleg er areala der det trengst utbetring/betere drenering større.

Praktiske råd

Større nedbørsmengder i dei siste tiåra enn i 30-års normalperioden 1961 – 90, og større nedbørsmengde innanfor eit avgrensa tidsrom, aukar kravet til drenering. Sidegrøfter/sugegrøfter er sjeldan for knapt dimensjonert. Nye sidegrøfter er no vanlegvis 3" (75 mm) og ikkje 2" (50 mm) som ofte tidlegare. Dimensjonsauke er både ut frå kapasitetsgrunnar og ut frå mindre risiko for tetting med slam

Definisjon og omtale av ulik dreneringstilstand

Naturleg dreneringstilstand:

I mineraljord er det ofte ein del jarnforbindingar. I vassmetta jord, der luft ikkje kjem til, har jorda ein gråblå farge (ofte omtala som blåleire, men dette gjeld også for silt, sandig silt osv.). Kjem luft til berre i dei største porene, og kanskje berre i dei tørraste delar av året, fører kjem rustfarga jarnforbindingar som fargeflekker.

Inndeling i dreneringsklassar:

- Delvis vassmetta
- Svært dårleg drenert
- Dårleg drenert
- Ufullstendig drenert

Moderat godt drenert

Godt drenert

Overflødig godt drenert

Dei tre sistnemnde klassane vert definert som sjølvdrenerert frå naturen si side.

Organisk materiale i jord:

Glødetap % er den vanlege analysemetoden nytta på jordprøver teke av/for næringa, som uttrykk for organisk innhald i jord. Glødetapet gjev best mål for innhaldet av organisk materiale i jordartklassane; mineralblanda moldjord, organisk jord, og jordartar med lågt leirinnhald.

I mineraljord med aukande innhald av leire må glødetapet korrigerast meir

og meir for å få reelt innhald av organisk materiale, og i etterkant berekning av karboninnhaldet. I analyserapport frå jordanalyiselaboratorie er det vanlegvis gjort ut frå skjønsmessig vurdering av leirklasse, jfr. mold %TS. Omrekning frå organisk karbon i jord til organisk materiale kan tilnærma gjerast ved:

Organisk materiale i jord =
Organisk karbon (C) X 1,724

Meir om dette finn de på:

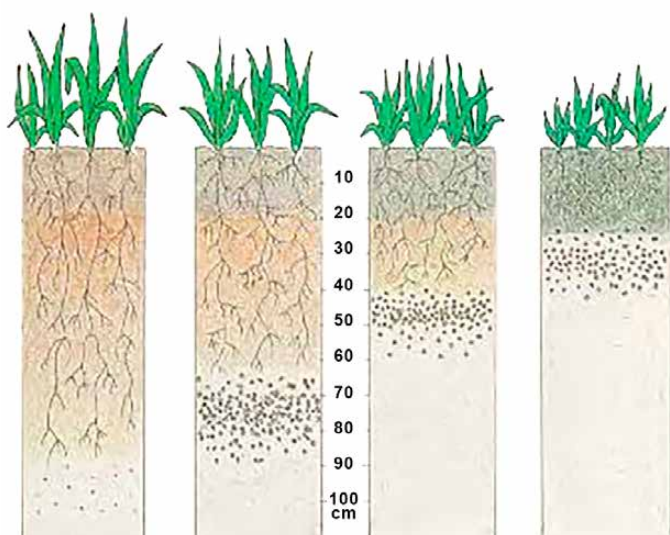
<https://www.agropub.no/fagartikler/hvordan-male-innholdet-av-organisk-materiale-og-karbon-i-norsk-jord>

Jordpakking: Grasdyrking på sandig silt i dal på Vestlandet. Sterkt redusert grasvekst i hjulspora etter pakking av tungt utstyr. Grunnvatnet står tidvis høgt, siltjorda har stor evne til vassbinding og opptørking går seint. Open kanal kan både ta bort overflatevatn og føra bort vatn som verkar til lågare grunnvassnivå, og såleis føra til at opptørkinga går fortare.
Foto: Dag Arne Eide, NLR Vestland.



ved større dimensjon. Dimensjonering av hovudgrøfter/samlegrøfter kan vera for knapp. For opne kanalar har vedlikehaldet kanskje ikkje vore tilstrekkeleg. Det har skjedd nedrasing og oppfylling/sedimentasjon, og vasstanden i kanalen vert ståande høgare. Dermed vert grunnvasstanden i tilstøytande areal høgare enn ønskjeleg. Ved store nedbørsmengder vil kapasiteten kanalen har til å leia bort vatn vera redusert, og det tek lenger tid før grunnvassnivået vert senka. Vedlikehald av kanalar må prioriterast.

Aktuell dreneringstilstand viser at det er større areal der drenering trengst enn det naturleg dreneringsgrad uttrykkjer. Aktuell dreneringstilstand tek omsyn til at ulike kulturar set ulike krav til drenering, og at jordbruksdrift medfører pakking og redusert infiltrasjon av vatn og seinare opptørking av jorda, som tilseier dreneringstiltak.



Figur: Illustrasjon som uttrykkjer ulik naturleg dreneringsgrad. Kjelde: Olav Prestvik: Innføring i jordlære. Landbruksforlaget 1985. Teikning: Arne Kristian Hansen.

Lengst til venstre: Naturleg godt drenert jord, luft kjem til ned til 1 m, men avtakande luftveksling i djupna. Jorda har eit nokså jamnt gulbrunt til raudbrunt fargeskjer avhengig av oksygentilgang og jarninnhald. Vilkår for djup og omfattande rotutvikling.

Nr. 2 frå venstre: Ufullstendig drenert jord. Lågare fargemetting, og som avtek med djupna. Reduserande forhold (lågt innhald av oksygen grunna høgt vassinnhald) startar mellom 50-100 cm, i illustrasjonen ved 60 cm. Framleis bra vilkår for rotutvikling og plantevekst.

Nr. 3 frå venstre: Dårlig drenert jord. Jordsmonn med låg fargemetting og/eller reduserande forhold som startar ved 25-50 cm. Grunnare rotutvikling, vanlegvis markert mindre under såkalla plogdjup.

Lengst til høgre: Svært dårlig drenert jord. Fråverande fargemetting i mineraljorda og/eller reduserande forhold innanfor øvre 25 cm. Ofte høgt innhald av organisk materiale i A-sjiktet.

Forsøk med ulik dreneringsintensitet

Areal med finkorna materiale, der silt er dominerande kornstorleik, er vanskeleg å drenera då porevolumet er dominert av små porer og vatnet drenerer sakte. Resultata frå feltforsøk i Askvoll viser varierende effekt av å redusere grøfteavstanden frå 12 til 6 m.

Johannes Deelstra, Synnøve Rivedal,
Samson Øpstad (NIBIO) og Trond Børresen (NMBU)

I fleire 10-år har det vore lite fokus på drenering og jordfysisk tilstand. Etter 1985 har det årleg vore drenert mindre enn halvparten av det arealet som vart grøfta i 10-året før. I 2013 vart det arbeidd opp eit forsøksfelt i Askvoll i Sogn og Fjordane. Føremålet var å måla effekt av grøfteavstand på avrenning, tap av nitrogen, grunnvasstand, jordfukt og -temperatur, jordfysiske forhold, avlingsmengde og utslepp av lystgass. Resultata skal vera med å vurdere trongen for drenering i eit klima med meir nedbør og der driftsmåten gjer at ein no har større krav til dreneringstilstanden.

Material og metodar

Grøftene er grave med gravemaskin, 1 m djupe og 50 m lange. Grøfterøyra er rette, stive plastrøyr, 75 mm i diameter. Sagmo frå kløyvingssag er nytta som filtermateriale, og det er lagt ei omsnudd grastorv oppå filtermaterialet. Både grøftegravinga og pågraving av grøftefyll vart gjort under gunstige vêrforhold. Feltet vart sådd til med to ulike frøblandingar, tilpassa drift med to haustingar (H2) og tre haustingar (H3). Gjødslingsstyrke var 19 kg N/ daa (G1) og 29 kg N/daa (G2). Kvar driftsmåte har to grøftesystem med fire

grøfter, der grøfteavstanden er høvesvis 6m (B) og 12m (C).

Avrenninga frå kvar einiskild dreneringsgrøft vart leia til ei hytte med kontinuerleg måling av vassmengde. Prøver

«Effekten av å redusere grøfteavstanden varierer med tekstur og jordfysiske eigenskapar»

proporsjonale med vassføringa i grøftene vart teke ut og analysert for å fastslå tap av nitrogen. Registrering av grunnvassnivå vart gjort samanhengande ved hjelp av trykksensorar innstallert i grunnvassrøyr, og manuelle målingar av grunnvassnivå i tillegg. Det vart også gjort kontinuerlege målingar av jordtemperatur og jordfukt ved fire grøftealternativ i 10-120 cm djup. Ein vêrstasjon

på feltet registrerte lufttemperatur, luftfukt, nedbør, vind.

Jorda og jordfysiske forhold på forsøksfeltet

Boniteringa av arealet før grøfting og etablering av forsøksfeltet viste høgt innhald av organisk materiale i øvre jordlag, ploglaget. Det varierte kor mykje djupare innslaget av organisk materiale går. Mineralmaterialet er sedimentært avsett, og er dominert av kornfraksjonane silt og sand. Det er dels markerte skilje mellom dei ulike laga, der det varierer mellom lag med fint materiale dominert av silt og grovare der det er meir av sand. I einiskilde tunne lag er det meir av silt og leir, og mindre sand. Dette er kompakte lag, som er vanskelegare for planterøter å trengja gjennom, og der vatn infiltrerer seinare. Jordarten, og dei utfordringar den fører til, er vanleg førekomande, særleg langs kysten. To fullstendige profilbeskrivingar vart gjort, i høvesvis H2B (profil 1) og H3C (profil 2). Profila viser noko skilnad, jfr. bilete neste side og tabell 1 med opplysningar om lagdeling, innhald av organisk materiale og korleis fordelinga av kornstorleik (tekstur) er i mineralmaterialet i dei ulike laga.

Tabell 1: Lagdelinga i dei to jordprofil, 1 (H2B) og 2 (H3C) med opplysningar om organisk materiale, tekstur av mineralmaterialet og jordfysiske eigenskapar.

Profil	Djupne	Organisk materiale %	Mineralmateriale			Jordtettleik g/cm ³	Vassinnhald %		Luftinnhald ved drenlikevekt %	Metta vassleingsevne mm/time
			Leire%	Silt %	Sand %		Metta tilstand	Drenlikevekt		
1	0-21	11,3	5.2	44.3	50.5	0,9	60,2	50,8	9,4	10,1
1	21-31	14,0	6.3	49	44.6	1,1	56,3	48,8	7,5	6,0
1	31-37	6,5	3.2	43.9	52.9					2,7
1	50-52	1,2	11.5	63.6	24.9	1,5	41,8	36,5	5,3	1,1
1	52-100	0,3	5	44.5	50.5	1,6	39,0	33,0	6,0	2,5
2	0-21	8,8	4	39.7	56.3	0,9	61,5	53,5	8,0	14,0
2	21-40	2,6	4.4	56.4	39.2	1,2	50,4	45,1	5,3	6,0
2	40-100	0,9	7.1	51.9	41	1,8	35,7	32,3	3,4	1,6



Översyn: To profil på grøftefeltet som viser variasjon i lagdeling og tjukne av dei einskilde laga. Profil 1 til venstre (H2B) som har store likskapstrekk med jorda i H3B, og profil 2 til høgre (H3C). Foto: Teresa Barcena.

Tabell 1 viser at det er eit høgt innhald av vatn ved metta tilstand i det øvre laget av jorda på forsøksfeltet, og høgt innhald av vatn ved dreneringslikevekt, også kalla feltkapasitet. Dreneringslikevekt er det vassinnhaldet jorda stiller seg inn på når det ikkje lenger drenerer vatn ned gjennom jordprofilen til grøfter og undergrunn. Dette gjev uttrykk for at denne jordarten har stor evne til å halda på vatn. Differansen mellom metta vassinnhald og vassinnhald ved dreneringslikevekt indikerer kor mykje luft det er i jorda. Om lag 10% luft ved dreneringslikevekt er ei kritisk grense ved grasdyrking, og i øvste jordlaget er luftinnhaldet i underkant av det som er optimalt. Lenger nede

i jordprofilen endrar dei fysiske forholda seg raskt. Jorda har mindre porevolum,

«Om lag 10% luft ved dreneringslikevekt er ei kritisk grense ved grasdyrking»

større jordtettleik og mindre luft ved dreneringslikevekt. Dette tyder på sjikt

som er relativt tette, noko målingar av metta vassleiingsevne også stadfester. I periodar med mykje nedbør vil desse tette laga bremsa vasstransporten nedover. Dette forverrar ytterlegare tilhøva med lite luft og luftveksling i jorda.

Nedbør i forsøksperioden og endring i normalnedbør

Normal årsnedbør ved NIBIO Fureneset har auka monaleg i høve til 30-års normalen for perioden 1931-1960, som då var 1845 mm. Normal årsnedbør for perioden 1961-1990 var 2010 mm, og førebels tal for siste 30 årsperiode som omfattar 1991-2019 er 2243 mm. Sum auke i årsnedbør er 398 mm. På feltet i Askvoll var det i måleperioden frå oktober 2014 til september 2017 betydeleg meir nedbør enn normalen i månader utanom vekstsesongen (Fig. 1). I vekstsesongen frå april til september var det vekslande avvik (\pm) i høve til normalen. I 2016 var det mindre nedbør enn normalt i april-juni og vesentleg meir i juli-august. I sum var vekstsesongen 2016 den med mest nedbør.

Resultat

Grøfting med 6 meter avstand fanga opp meir av nedbøren og gav vesentleg meir avrenning enn grøfting med 12 meter avstand. Tilhøva var slik i heile forsøksperioden.

Første måleperioden etter at grøftinga vart utført fanga grøftene opp ein større del av nedbøren enn i andre måleperiode. Grøfteavrenninga stabiliserte seg deretter.

Tabell 2: Nedbør (mm/år), fordampning frå jorda og plantene sitt forbruk av vatn (evapotranspirasjon) (mm/år, og som % av nedbør), grøfteavrenning ved høvesvis 6 m og 12m grøfteavstand (mm/år, og som % av nedbør) ved ulike driftsopplegg og periodar.

Periode	Nedbør	Fordampning+ planteopptak	Grøfteavrenning ved			
			6 m grøfteavstand		12 m grøfteavstand	
			H2C	H3C	H2B	H3B
Okt 14 - Sept 15	2860	495	1540	1033	762	877
		17%	54%	36%	27%	31%
Okt 15 - Sept 16	2700	508	1153	684	511	400
		19%	43%	25%	19%	15%
Okt 16 - Sept 17	2415	491	1116	676	559	337
		20%	46%	28%	23%	16%
Heile perioden	7975	1494	3809	2393	1832	1654
		19%	48%	30%	23%	21%



Kontrast: Forsøksfelt med 6 og 12 m grøfteavstand i Askvoll våren 2014. Foto: Jørgen Wik.

Ved 6 m avstand mellom grøftene var det større avrenning i grøftene ved eit driftsopplegg med to gonger hausting (H2) enn ved eit med tre gongers hausting (H3). Skilnaden skuldast i stor grad skilnad i jordeigenskapar.

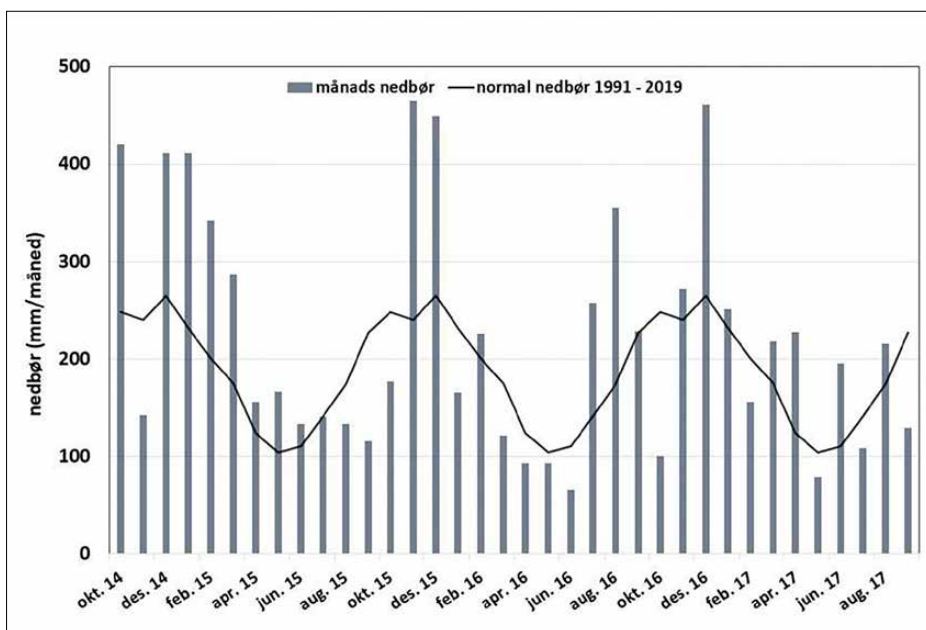
Ved 12 m avstand mellom grøftene var skilnaden mellom H2 og H3 liten. Hovudgrunnen til låg grøfteavrenning ved 12 m grøfteavstand er avstand mellom grøftene, og jordeigenskapar med høg sum av finkorna materiale og låg

metta vassleiingsevne.

Som venta var det ein god del av vatnet på feltet som ikkje vart fanga opp av grøftesystemet, mest ved 12 m grøfteavstand. Noko av dette vatnet rann bort som overflatevatn, og noko som infiltrasjon til undergrunnen. Sjølv ved svak helling er det overflateavrenning.

Auka avrenning på H2 ved 6 m grøfteavstand i høve til 12 m reduserte grunnvasstanden med 20 cm i gjennomsnitt for tre år. På H3, der det berre var ei lita auke i avrenninga vart grunnvasstanden ved 6 m grøfteavstand berre redusert med 6 cm.

Resultata frå feltet viser at effekten av å redusere grøfteavstanden varierer med tekstur og jordfysiske eigenskapar. På finkorna jord er det låg vasstransport både vertikalt og horisontalt. Grøftesystemet må då kombinerast med avrenning på overflata for å hindra at grunnvassnivået vert ståande på eit høgt nivå over tid, med dei uheldige konsekvensane dette har for plantevekst og drift av jorda.



Våtare: Nedbør (mm/mnd) på forsøksfelt i Askvoll frå oktober 2014 til september 2017 og normal nedbør 1991-2019 for NIBIO Fureneset.

Aurhelle som sperrelag

Aurhelle i jord er tette lag som skuldast nedvasking og samankitting av løyste sambindingar. Aurhelle reduserer infiltrasjonen av sigevatn, og kan føra til dårleg drenering sjølv på grovkorna jord. Kalking og høgare pH nedover i jordprofilen kan seinka utvikling av aurhelle.

Samson Øpstad (NIBIO)

Aurheller blir helst danna i område med rikeleg nedbør. Aurhellelaga i jord har si årsak i nedvasking av løyste sambindingar av blant anna jarn, aluminium og humus frå materialet over, og som vert felt ut og kittar seg saman med anna jordmateriale til klumpar eller ei meir eller mindre samanhengande plate som kan vera av ulik hardleik. Danning av aurheller skjer under vekslende oksiderande og reduserande forhold i jorda, som følgje av veksling mellom periodar med og utan vassmetting av jorda. Dette skjer gjerne når årstidene vekslar. Jarnaurhelle er laga av jarn, er rustraud på farge og er vanleg å finne på Vestlandet. Humusaurhelle er humusstoff som kittar seg saman med mineralmateriale i lag under organisk jord, og er svart på farge. Det er og vanleg med aurheller danna som ei blanding av avsetjingar av jarn og humus.

Hengjande grunnvatn

Ei hard plate av aurheller er nærast uråd å trengja gjennom både for planterøter og sigevatn, og må brytast med maskin. Aurhellelag er årsak til hengjande grunnvatn. Hengjande grunnvatn er ein situasjon der vatnet hopar seg opp og jorda vert vassmetta over eit lite gjennomtrengelig lag, medan jordlaget under ikkje er vassmetta. Jordlaget under sperrelaget kan jamvel ha lågt vassinnhald og grøftene kan vera intakte. Dreneringsvanskar grunna aurhellelag fører til dreneringstrong sjølv på grovkorna jord som grushaldig sandjord.

Nesten ugjennomtrengelig:

Aurheller i morenejord med lag av sortert materiale avsett i smeltevatn, i Suldal. Det raudbrune aurhellelaget øvst, nett over laget med finkorna materiale, er jarnaurhelle. Det svarte aurhellelaget, som er ei hardare plate, er manganaurhelle med innslag av jarn. Aurhellelaga her er mest knytt til vekslende grunnvasstand, og sigevasspåverknad frå tilgrensande område.

Foto: Line Tau Strand, NMBU.

Høgare pH hjelper

Kalking etter bryting av aurhellelag kan seinka ny danning av aurhelle. Effekten av kalking er meir ein verknad av høgare pH i jorda enn av meir kalsium. Høgare pH fører til mindre positive ladningar på jarn-oksida, og det igjen vil føra til mindre samankittande evne og aurhelledan-

ning. Kalk tilført på overflata bevegar seg relativt sakte nedover i jorda. Ved bryting av aurhelle, til dømes i samband med drenering eller omgravingsarbeid, er det aktuelt å kalke for å auke pH i djupare lag. Sjølve aurhellelaget, også kalla utfellingslag, har lågare pH enn jorda over, og lågare pH enn jordmassen under.



Verknad av grøfteavstand og drift på engavling og nitrogenutnytting

Grøfting auka avlinga, men vi fann ikkje sikker skilnad av å grøfta med 6 m avstand framfor 12 m. Avlingsmengda auka med sterkare gjødsling med nitrogen (N), men N-utnyttinga avtok. Målt N-tap i grøfteavrenning var lite.

Synnøve Rivedal, Johannes Deelstra og Samson Øpstad (NIBIO)

I eit feltforsøk i Askvoll i Sogn og Fjordane vart det i åra 2014-2017 blant anna undersøkt korleis ulik grøfting påverka avrenning, engavling, nitrogen (N)-balanse og utslipp av lystgass og metan. Jordforhold, nedbør og avrenningsresultat vart presentert i Bondevennen nr. 30/2020. I denne artikkelen vil vi fokusere på avlingsresultat og N-balanse.

Forsøksopplegg

På feltet var det eitt driftsopplegg med to slåttar (H2) med frøblandinga 70% timotei, 20% engsvingel og 10% engrapp, og eitt med tre slåttar (H3) og frøblandinga 45% timotei, 15% engsvingel, 10% engrapp, 15% fleirårig raigras og 15% raisvingel. Det vart køyrt over hausterutene med traktor hjul i hjul etter kvar slått slik at H2 fekk to, og H3 tre overkøyringar per år. Innanfor kvart driftsopplegg var det tre dreneringsintensitetar; utan grøfting, 12 m grøfteavstand og 6 m grøfteavstand. Innanfor kvar kombinasjon av driftsopplegg og drenering vart det gjødsla med to gjødslingsnivå; G1: 19 og G2: 29 kg N/daa. På grøfta areal var det for kvart gjødslingsnivå to grøfter med registrering av N-avrenning. Avlinga vart

registrert på fire hausteruter i kvar kombinasjon av behandlingane.

Avling

I middel for tre engår var avlinga 801, 858 og 880 kg ts/daa på ugrøfta, 12 og 6 m grøfteavstand (Fig. 1). Grøfting auka

«Jord dominert av silt er krevjande å drenera sjølv med 6 m grøfteavstand»

avlinga, men det var ikkje sikker avlings-effekt av å redusere grøfteavstanden frå 12 til 6 m. Det var ingen sikre skilnader i avling mellom driftsopplegga to og tre slåttar. Treslåttssystemet hevda seg godt første engår, men overvintringa vart deretter dårleg. Om våren var ikkje utviklinga på treslåttblandinga noko tidlegare enn på toslåttblandinga, og 1. slåttan

vart tatt på same tid. Våren 2016 og 2017 var plantesetnaden i H3 mindre tett enn i H2, og det var låg avling i første slått. Plantesetnaden og avlingsmengda retta seg noko utover i veksetida. Grunna mykje nedbør og få opphaldsperiodar i 2016 og 2017, og jord som var våt, vart 1. og 2. slått utsett. I 2017 tatt høvesvis 30. juni og 24. august. Dermed vart det ikkje rom for 3. slått dette året, og det vart ikkje gjødsla etter 2. slått. Energiverdien i føret var ein god del betre på treslåttssystemet, så middel energiavling for tre engår vart omtrent lik og rundt 700 FEM/daa. Auka gjødsling frå 19 til 29 kg/daa auka avlinga frå 790 til 904 kg ts/daa.

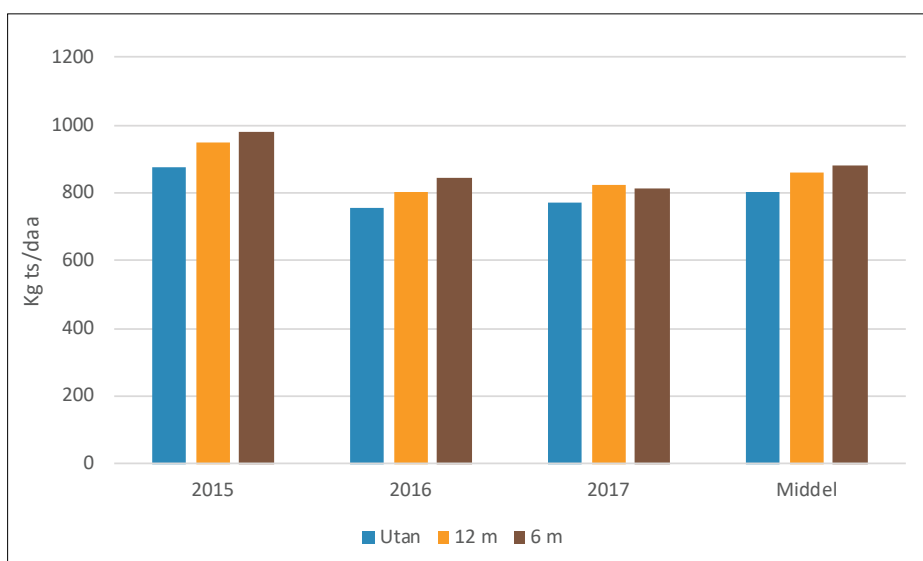
Nitrogenutnytting

I omtalen av korleis tilført N-gjødsel vert utnytta brukar vi det som vert definert som eit hydrologisk år. Då nyttar ein tida f.o.m. 1. mai - t.o.m. 30. april året etter. Dette ut frå tidspunkt for gjødsling og vekststart og at ein ser næringsavrenning i grøfter og andre tapspostar, både i vekstsesongen og etterfølgjande haust og vinter, som ein effekt av gjødsling og frigjeving frå jord, og næring teke opp i avling. I forsøket med tre engår hadde vi to hydrologiske år med datafangst; 1: mai 15-april 16 og 2: mai 16-april 17.

Nitrogen teke opp i avling er i begge hydrologiske åra markert større i forsøksleddet med to gonger hausting og 6 m grøfteavstand, enn i dei andre forsøksledda. Dette gjeld ved begge gjødselmengdene som vart prøvd. Nytteverknaden av tilført N-gjødsel var høg ved G1 der 19 kg N/daa vart tilført. Nøyaktig nyttegrad av N kan ein ikkje fastsetja då det ikkje var med eit ugjødsla forsøksledd som gjer at ein kan fastslå kor mykje N som er frigjeve frå jorda.

N-avrenning

Den årlege mengda av N som vert tapt i grøfteavrenninga er moderat, med årleg bortføring av 0,6-1,4 kg N. Det er større mengd N ført bort med grøfteavrenning frå driftsopplegg med to gonger



Figur 1: Avling i kg ts/daa utan grøfting og med 12 og 6 m grøfteavstand i engåra 2015-2017 og i middel for desse åra.



Måling pågår: Målehuset der grøfterøyra kjem inn og der det er vippekar med instrumentering for måling av grøfteavrenning og uttak av vassproporsjonale prøver til kjemisk analyse. Foto: Konrad Furset.

slått og 6m grøfteavstand enn ved 12m grøfteavstand. Det har samanheng med at meir vatn vert ført bort i grøftene ved 6m enn ved 12m grøfteavstand. Dette er ei logisk konstatering i samsvar med det ein venta å finna. I lysimeterfelt, som er kontrollerte avrenningsfelt, er det på Fureneset og Særheim registrert større grøfteavrenning av N.

Gjennomsnittleg konsentrasjon av N i grøftevatnet er høgare i den halvdel av grøtefeltet der det er driftsopplegg med tre gonger slått enn ved to gonger slått. Men avrenninga i grøftene frå driftsopplegget med tre gonger slått er mindre enn frå to gonger slått, slik at den årlege målte

grøfteavrenninga av N ikkje vert større.

Tap ved overflateavrenning førekjem sjølv ved lite hall, både i vekstsesongen ved intense nedbørsepisodar, men gjerne meir utanom veksetida knytt til veksifte frost/tining og mykje nedbør. Ein omfattande tapspost av N som vi ikkje har fanga i rekneskapet er N i sigevatn som vert transportert ned til undergrunnen forbi grøftesystemet.

Drøfting og oppsummering

N-avrenninga utgjer berre ein liten del av nitrogenet som ikkje er teke opp i avling, sjølv om ein tek omsyn til at ein ikkje har klart å fange opp all avrenning i målin-

gane. Nitrogen vert i noko grad bunde i jorda, men kan også gå tapt til luft i ulike former. Det er eit visst, men avgrensa ammoniakktap frå overflatespreidd handelsgjødsele. Tap til luft som denitrifisert N_2 i periodar då jorda er vassmetta like til overflata, er truleg vanlegast om haust og utover, men førekjem også om vårforsommar før opptørking. Er jorda nær vassmetta og med grunnvasstand som varierer nær overflata, kan det føra til tap av lystgass (N_2O), ein situasjon som og førekjem ved episodar med mykje nedbør i veksetida. Nitrogen som går tapt som lystgass utgjer ikkje store mengder, men det betyr mykje for utslepp av klimagassar då N_2O er ein sterk klimagass. Meir om dette i ein seinare artikkel.

Treslåttsblandinga hevda seg godt første engår, men den sådde frøblandinga overvintra etter dette dårlegare enn frøblandinga i toslåttsregimet. Areal med høgt innhald av organisk materiale i overflata og silt som dominerande fraksjon under, er i regnrrike område mindre eigna for artar som lett går ut om vinteren. Slik jord er, grunna evna til å halda på vatn, krevjande å drenera sjølv med 6 m grøfteavstand.

Tabell 1: Differansen mellom tilført N-gjødsele og N oppteke i avling ($N_{gj\ddot{o}ds} - N_{avl}$), N tapt ved grøfteavrenning ($N_{avrenning}$) og $N_{balanse}$ der N-avrenninga er trekt frå. Tal for ulike gjødselelvå, ulike grøfteavstand og ulike drift i kg N/daa. Middell for registreringar i to hydrologiske år.

Grøfteavstand	Drift 2 slåttar						Drift 3 slåttar					
	$N_{gj\ddot{o}ds} - N_{avl}$ (kg/daa)		$N_{avrenning}$ (kg/daa)		$N_{balanse}$ (kg/daa)		$N_{gj\ddot{o}ds} - N_{avl}$ (kg/daa)		$N_{avrenning}$ (kg/daa)		$N_{balanse}$ (kg/daa)	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2	G1	G2
12 m	9,5	15,5	0,6	0,7	8,9	14,8	9,6	16,3	0,8	1,0	8,8	15,3
6 m	4,6	11,7	0,7	1,4	3,9	10,3	9,6	15,5	0,8	0,9	8,8	14,6

Drenering, lystgass og metan

Drenering av vassjuk jord gjør at jorda blir lettere å drive. Vi forventer at det også er en måte å redusere utslipp av klimagassene lystgass og metan. Den tette siltjorda på Askvoll viste oss at det ikke alltid er slik.

Sissel Hansen (NORSØK), Peter Dörsch (NMBU),
Synnøve Rivedal, Samson Øpstad og Johannes Deelstra (NIBIO)

Lystgass (N_2O) er en gassformig nitrogenforbindelse som dannes naturlig i jorda. Størst utslipp av denne gassen blir det når det er vått og mye nitrat (NO_3) i jorda. Det meste av kunstgjødsla som brukes i Norge inneholder nitrat og ammonium. Metan dannes i svært våt jord. Det er derfor antatt at drenering er et godt tiltak for å redusere klimagassutslipp.

Vi undersøkte utslipp av lystgass og metan fra to områder med henholdsvis 6 og 12 meter grøfteavstand i et forsøksfelt på Askvoll. Målingene ble utført ved to slåtter og gjødsling med 29 kg nitrogen per daa og år. For å etterligne pakking som jorda blir utsatt for ved normal drift ble det kjørt med en traktor på 6,8 tonn hjul i hjul etter hver slått. Feltet var kalke og pH i jorda varierte fra 5,8 til 6,1.

Hva fant vi?

Det var større avrenning, raskere senkning av grunnvannsnivået etter regn og gjennomsnittlig lavere grunnvannstand ved 6 m grøfteavstand enn ved 12 m grøf-

teavstand. I perioder med mye regn var det imidlertid liten forskjell i avstand til grunnvann og vanninnhold i jorda mel-

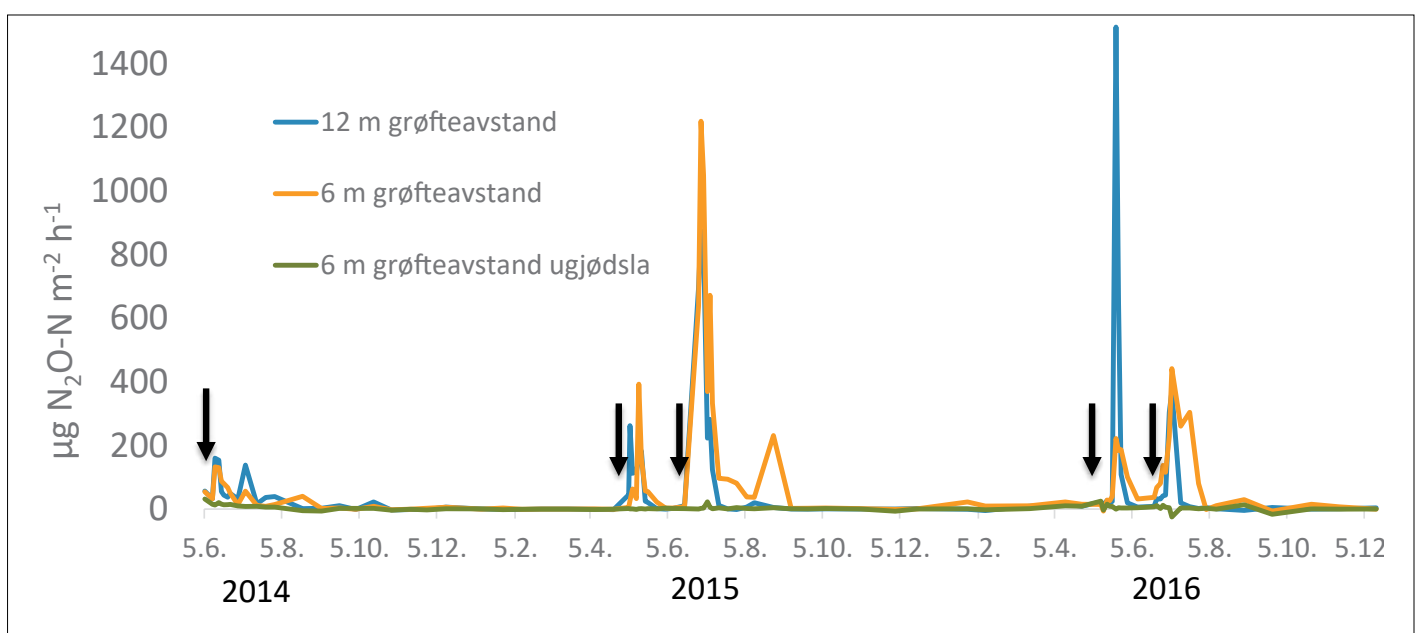
«Våt jord ved gjødsling, eller mye regn like etter gjødsling, fører til økt utslipp av lystgass.»

lom de to grøfteintensitetene. Når det var våt jord ved gjødsling, ble det store utslipp av lystgass uansett grøfteavstand. I tillegg ble det noe mer utslipp av lystgass andre tider på året fra jord

med 6 m grøfteavstand. Det førte til at det totalt ble mer utslipp av lystgass ved 6 enn ved 12 m. Ved 12 m var det utslipp av metan (CH_4), mens ved 6 m grøfteavstand var det et nettoopptak av metan. Det skyldes bakterier som omdanner CH_4 til CO_2 når det er nok luft i jorda. Det var ingen forskjell i samlet klimagassutslipp per kg tørrstoffavling mellom de to grøfteintensitetene. Utslippsfaktor for lystgass, det vil si nitrogen i lystgass i % av tilført nitrogen, var 1,1% for 6 m og 0,8 for 12 m grøfteavstand.

Hvorfor fikk vi ikke reduserte utslipp av klimagasser ved mer intensiv grøfting?

Jorda på 12 m grøfteavstand var svært våt. Det har sannsynligvis ført til mer omdanning av lystgass (N_2O) til nitrogen-gass (N_2), noe som kan skje når jorda er vassmetta. Høyere utslipp av lystgass ved 6 enn 12 m grøfteavstand i andre tider på året enn rett etter gjødsling skyldes antagelig bedre luftveksling og dermed bedre forhold for omdanning av



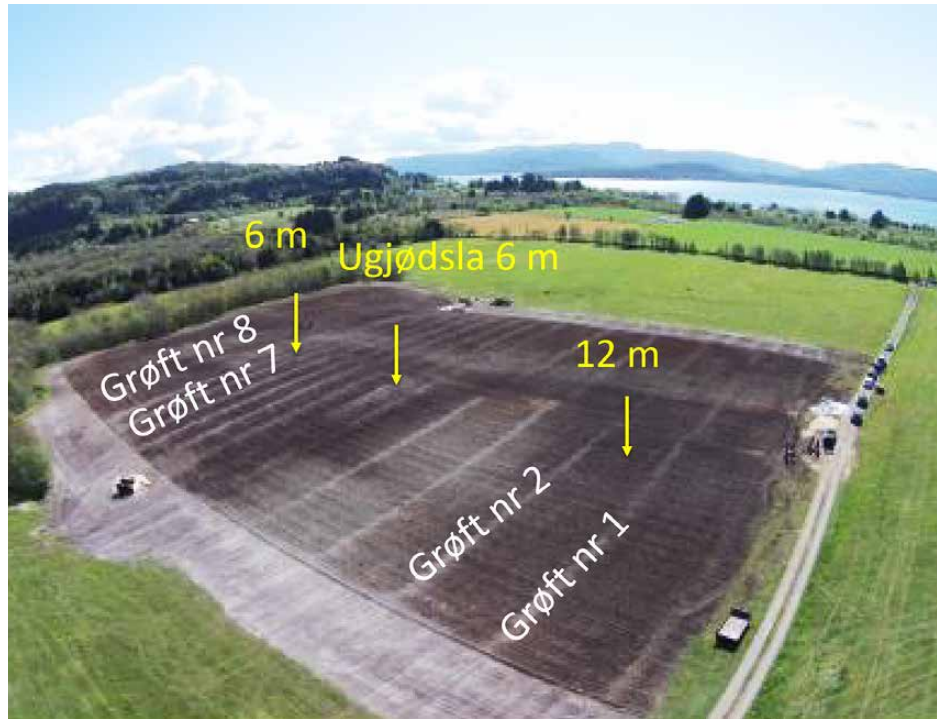
Figur 2: Hastighet på utslipp av lystgass fra 5. juni 2014 til 14. desember 2016 på Askvoll. Piler viser når det er gjødslet, 17 kg N per daa til første slått og 12 kg N til andre slått. 2014 var gjenleggsår og en tørr vekst vekstsesong, mens det var mye våtere i 2015 og 2016.

ammonium til nitrat. Ved 12 m var det lite nitrat i jorda utenom periodene rett etter gjødsling, mens det ved 6 m var både mer nitrat og ammonium i jorda.

For at jorda skal tørke raskt opp etter regn trengst det god infiltrasjon. Ei finkorna jord dominert av silt har fra naturens side små porer som vannet renner sakte gjennom. Sperresjikt i jorda kan redusere infiltrasjonen ytterligere. Målinger på Askvoll viste at jorda har ei metta vannledningsevne som varierer fra 1 cm i timen øverst i profilet til 1 mm i timen i et siltlag lenger ned i profilet.

Oppsummering og drøfting

Denne siltjorda er vanskelig å drenere. Våt jord ved gjødsling, eller mye regn like etter gjødsling, fører til økt utslipp av lystgass. Våt jord med høyt innhold av organisk materiale, gir utslipp av metan. Kjøring på våt jord gjør ei slik jord enda tettere og reduserer infiltrasjonen. Lystgassutslippene i dette forsøket er likevel lavere enn de siste tilrådingene til FN sitt

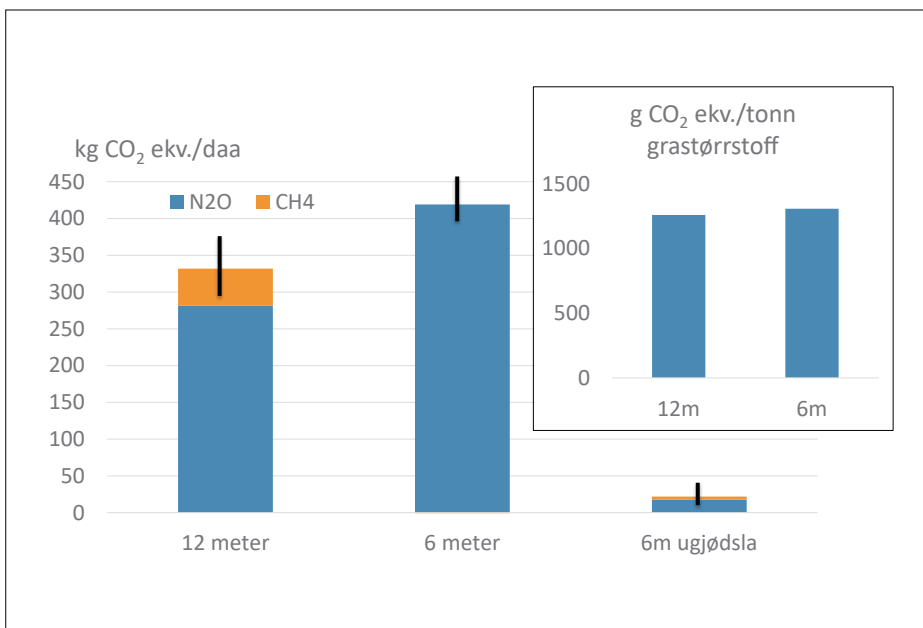


Figur 1: Oversikt over feltet med 6 og 12 meter grøfteavstand.

klimapanel, som foreslår en utslippsfaktor på 1,6% av tilført kunstgjødselnitrogen i vått klima.

Ved sur jord har andre forsøk vist at lystgass ikke blir omdannet til N_2 da enzymene ikke fungerer ved lav pH. Dersom dette forsøket var gjennomført på ei jord med dårlig kalktilstand, ville sannsynligvis utslippene av lystgass fra 12 m grøfteavstand blitt mye høyere. For å holde utslippene av lystgass nede etter gjødsling med kunstgjødsla, er det viktig å kalke sur og våt jord.

Mesteparten av atmosfæren vår (78%) består av N_2 og denne gassen som dannes når jorda er svært våt har ikke klimaeffekt. Det er imidlertid et problem for landbruk og miljø at tilført nitrogen utnyttes lite effektivt. Bedre utnytting av nitrogenet ved 6 m enn ved 12 m som omtalt i Bondevennen 30. oktober er derfor viktig.



Figur 3: Samla utslipp av lystgass (N_2O) og metan (CH_4) med ulik grøfteavstand fra 5/6- 2014 til 14/12- 2016. En CO_2 ekvivalent er den effekten en enhet CO_2 har på global oppvarming. Effekten av lystgass og metan er regnet om til CO_2 ekvivalenter.

Grøfting ikkje nok

For å få tilfredsstillande drenering av finkorna jord i nedbørrike område er grøfting åleine ikkje nok. Du bør også ha tiltak som leiar vatn raskare bort frå arealet, som terrengforming og nedlaup (kummar) direkte til drensrøyr/avløpsrøyr. Det vil føre til mindre oppfylling av porene i jorda, og raskare tørking og senkning av grunnvannstand. Redusert køyrelastning er viktig, då pakking på siltdominert jord fører til redusert infiltrasjon som er vanskeleg å rette opp. Siltdominerte jordartar har lite sjølvlækjande evne.

Profilering og omgraving

På Vestlandet blir det stadig meir nedbør. Dei alternative dreneringsmåtane som vart vist fram på markdagen i Fjaler har dermed stor aktualitet.

Synnøve Rivedal (NIBIO)

Bønder har ikkje anna val enn å tilpasse seg klimatiske forhold. På Vestlandet blir det stadig meir nedbør, men det blir og større variasjon mellom år, og utfordrande å tilpasse drifta. Her er også forholdsvis mykje organisk jord, som er vanskeleg å drenere. Dei alternative dreneringsmåtane som vart vist fram på markdagen i Fjaler har dermed stor aktualitet.

Over 30 interesserte møtte fram for å sjå på prosjekta til Anders Hopland på Lone i Fjaler då NLR Vest og NIBIO Fureneset arrangerte markdag 28.mai. Tema var profilering, påkøyning av mineralmasse og omgraving av tidlegare dyrka myr.

Profilering og påkøyning av masse

Vi såg først på profileringssprosjektet Anders no har under arbeid. Det er eit tidlegare innmarksbeite på 30 dekar, der jorda vekslar mellom myrjord og mineraljord. Området vart bonitert tidleg på 1970-talet og vert no profilert og tilført mineralmasse som topplag. Anders er heldig som har eit lager av mineralmasse til slik bruk. Mineralmassen har varierende kvalitet. Mykje er grushaldig siltig sand, men ein del har finare kornfordeling der innhaldet av silt ut frå ideelle omsyn er vel høgt. Silt har stor evne til å halda på vatn, tørkar

seint opp og er utsett for pakking. Då er det viktig å bruke lette maskiner med god dekkutrustning og vente lenge nok før ein kører utpå arealet, understreka forskar Samson Øpstad på markdagen. Med fin-korna masse er ein i nedbørrike område avhengig av overflateavrenning for å få god nok drenering av arealet og profilering er heilt nødvendig.

«Ved å få meir areal som tørkar lettare opp, strekker ein periodane for vårarbeid og hausting.»

Auka bereevne

Det er lagt på eit minst 40 cm tjukt lag med mineralmasse over myra. Auka bereevne er det viktigaste argumentet for påkøyning av masse. For å få varig effekt av påkøyninga må ein bruke eit såpass

tjukt lag at myra blir liggande under pløyedjupne. Ein kan også oppnå god dreneringseffekt ved profilering utan påkøyning av masse på myr. Lett utstyr og god dekkutrusting er her vesentleg for å unngå hjulspor der vatn blir ståande.

Opne grøfter

I slike prosjekt er det viktig å lage gode, opne og tilstrekkeleg djupe avskjeringsgrøfter rundt arealet for å senke grunnvasstanden og hindre at vatn frå kringliggande areal kjem inn på arealet, meinte Samson Øpstad. Mellom profilane sørger opne grøfter for transport av vatn ut av arealet. Fallet frå profilryggane til kanal er på feltet dimensjonert ut frå at det vil verte størst samanpressing og synking på midten der det er mest myrjord. Kanalane er gravde så djupe at kanalbotnen er i mineraljord. På fleire utsette stader må kanalane plastrast, då det er masse utsett for erosjon og vassføringa tidvis kan vera stor.

Vedlikehald

Opne grøfter må vedlikehaldast ved å fjerne mineralmasse som bygger seg opp i grøfta og vegetasjon som hindrar at vatnet renn fritt. Det er svært uheldig

Endring: Tidlegare innmarksbeite med vekslande myr- og mineraljord som no blir profilert og påkøyr mineralmasse. I enden av arealet, der gravemaskina står, har Anders Hopland ei avsetjing med mineralmasse som kan brukast til dekke. Foto: Synnøve Rivedal.



Stengsel: Lett synlege jarnaurheller (raudbrun farge) med samankitta materiale som stengjer» for infiltrasjon av vatn. Foto: Arve Arstein.



Omgraving med skråstilte lag: Laget med organisk jord blir lagt til sides på eksisterande areal og mineralmassen på motsett side. Den organiske jorda blir deretter lagt nedst, og mineralmassen på topp og side slik at den organiske jorda blir liggande som pølser med mineralmasse rundt.

Foto: Synnøve Rivedal.

for overflateavrenninga dersom det bygger seg opp ein kant mot den opne kanalen. Denne må fjernast, og elles må ein passe på at det ikkje blir søkk der vatnet blir ståande. Her blir det lett vinterskade og dårleg plantevekst, og slike fukt punkt breier seg lett utover.

Frøblanding

Liv Østrem, forskar ved NIBIO Fureneset, tilrådde å bruke ei frøblanding med mange artar, som til dømes Vestlandsblanding, på arealet. Det er mest aktuelt med to slåttar på eit areal der ein må ta omsyn til sein opptørking og jordpakking. Ei blanding med moderat timoteimengde og dermed meir plass til bladgras, kjem betre ut enn ei meir timoteidominert blanding både i avling og kvalitet også ved to slåttar, hadde Liv erfart frå forsøk på Fureneset. Vestlandsblandinga inneheld blant anna strandsvingel, som har eit djupt rotsystem. På finkorna og organisk jord er det viktig med god plantevekst og djupt rotsystem for effektiv fordamping av vatn, som er med på å tørke opp jorda.

Omgraving

Dei fleste bønder på Vestlandet har nedbørssommaren 2017 friskt i minne. Anders Hopland fekk ikkje hausta eit strå på den blaute myra som han leigde hos naboen. Den grunne myra var dyrka ikkje mange år tidlegare, og fungerte godt i starten. Etter kvart vart det vanskelegare og vanskelegare å komme seg utpå arealet for å hauste graset. Det var

då Anders bestemte seg for at han ville prøve omgraving. Laget med organisk jord var vekslende djupt, for mykje av arealet mindre enn 50 cm. Massen under var dominert av sand og grushaldig sand. Ein lokal entreprenør tok jobben med omgraving med skråstilte lag. Under arbeidet kom det fram at det hadde danna seg ei aurdelle som stengde for at vatnet kom ned til undergrunnen og drenerte. Topplaget av organisk jord og aurdellelaget gjorde at det vart danna det ein kallar hengjande grunnvatn. For å få eit godt resultat med omgraving må ein grave seg gjennom aurdella.

Tørke

Etter bløyta i 2017 vart vi overraska av tørkesommaren 2018. For Anders kunne ikkje dette passe dårlegare. Han skulle så i eit lag med sand og grus som var svært utsett for tørke. Etter råd frå NLR og NIBIO vart arealet sådd med ei vanleg engfrøblanding iblanda tørkesterk strandsvingel. Så kom spørsmålet om han skulle vatne arealet. Arve Arstein fekk råd frå kollegar i NLR Innlandet som har meir erfaring med tørkeproblematikk. Ein kom fram til at det ikkje skulle vatnast, og det skulle vise seg å gå bra. Enga var litt grisen i 2019, men står svært fin i år trass problem med hjortebeiting på arealet.

Motivasjon

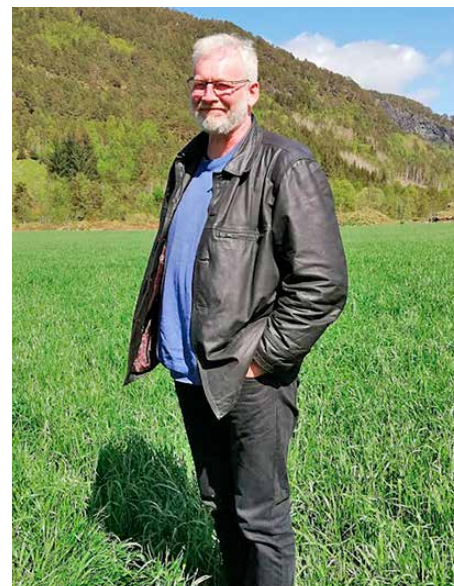
Mange stussar nok over at Anders brukar så mykje tid og pengar på areala som han driftar. Han er einig i at det gjerne er

litt galskap for ein mann som ikkje har så mange år igjen til pensjonsalder.

- Når ein er vant til å måtte vente ei veke for at myra skal tørke opp før ein kjem seg utpå, er det ein fryd å sette seg på traktoren å gylle det omgravde arealet med slangespreiar tidleg på våren, seier Anders.

Ved å få meir areal som tørkar lettare opp, strekker ein periodane for vårarbeid og hausting. Det er viktig når ein bur i eit område med årsnedbør på 2200 mm med korte opphald mellom nedbørsepisodane.

Nøgd: Anders Hopland er godt nøgd med det omgravde arealet, der enga står fint våren 2020. Foto: Synnøve Rivedal.



Omgraving av tidlegare dyrka myr som treng ny drenering

Omgraving av tidlegare grøfta myr gjev betre bereevne, dreneringstilstand og engavling. Finkorna mineralmasse er avhengig av overflateavrenning for at dreneringa skal bli tilfredsstillande. Omgraving må gjerast i kombinasjon med profilering.

Synøve Rivedal, Samson Øpstad (NIBIO),
Sverre Heggset (NLR) og Trond Børresen (NMBU)

Myr dyrking har vore eit heitt tema i samband med prosessen rundt innføring av forbod mot nydyrking av myr i Norge. Uavhengig av dette vil det vere drift på eksisterande dyrka areal med organisk jord, som utgjer om lag 600 000 dekar. Grovfôrproduksjon på tradisjonelt røyrgrøfta myrjord er utfordrande både når det gjeld klimagassutslepp og drift av jorda.

Myrjorda sine eigenskapar gjer at grøftesystemet og dreneringa ofte etter kort tid ikkje fungerer optimalt. Omgraving er ein alternativ dreneringsmåte ved trong for ny drenering når den organiske jorda ligg over eigna mineralmasse, og djupna på det organiske laget i hovudsak er mindre enn 1,5 m. Her blir mineralmassen lagt som eit profilert topplag over myrjorda og i skråstilte lag der vat-

net kan drenere frå overflata til undergrunnen (Fig. 1).

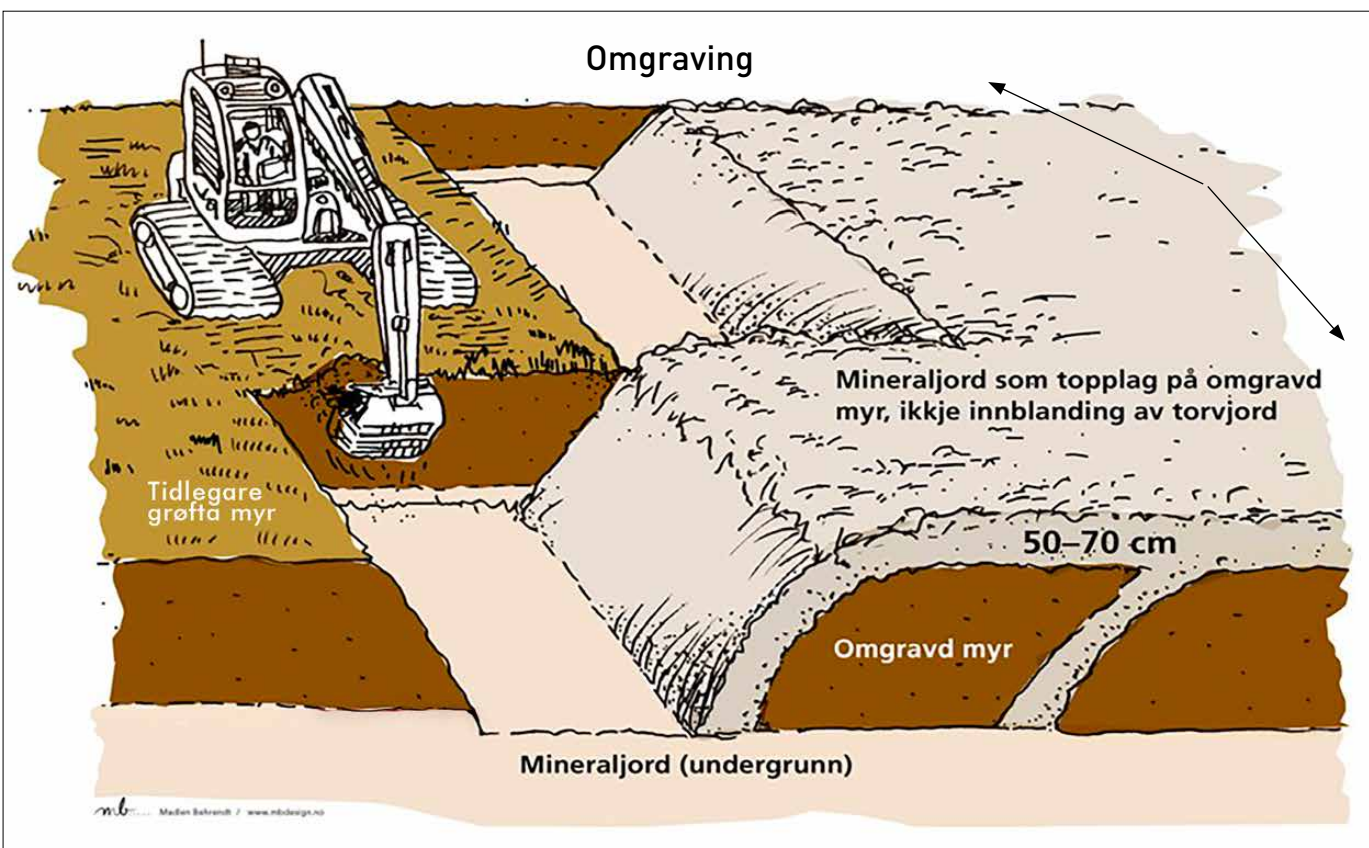
«Førsteslåttsavlinga hadde alle år høgre energiverdi på omgravd enn på grøfta myr.»

Rundt arealet blir det grave kanalar for oppsamling og transport av vatn bort frå området. I åra 2014-2018 samanlikna vi tidlegare grøfta omgravd myr med tra-

disjonelt grøfta myr i Fræna i Møre og Romsdal. Omdanningsgraden av organisk materiale etter von Post's skala var 5-7. Omdanningsgrad 5-6 vert definert som middels omdanna, 7 og høgare vert definert som sterkt omdanna. Vanskane med tradisjonell grøfting av myr aukar med aukande omdanningsgrad. I feltforsøk på areal som låg tett attmed kvarandre undersøkte vi jordfysiske forhold, dreneringstilstand, engavling, lønnsemnd og klimagassutslepp. Resultata frå målingane av klimagassutslepp og lønnsemnd kjem i komande artiklar her i Bondevennen.

Jord og drenering

Jordeigenskapane til mineralmassen som låg over omgravd myr var naturleg nok svært ulik den organiske jorda på det grøfta arealet. Mineralmassen var svært



Figur 1: Skisseteikninga syner prinsippet for omgraving av myr (torvjord). Organisk jord vert lagt i botnen, mineraljord vert lagt på toppen og i skråstilte lag som drenerer. Omgraving bør kombinert med profilering. Etter småskrift 4/90. Drenering III. Revidert teikning: Madelen Berent.



Ymse myr: Forsøksfeltet i Fræna, med omgravd myr som er svakt profilert. På toppen av profilryggen er øvre forsøksruter med instrumentering, nærare kanalen er nedre forsøksruter med instrumentering. Nærast er området med tradisjonell røygrøfting, der grøftene har utlaup direkte i den open kanalen. Foto: Synnøve Rivedal.

fattig på organisk materiale (<0,5% tot C) og teksturen var dominert av fin sand og silt. Det var meir sand (særleg grovsand) og innslag av grus, og grovare tekstur på toppen av profilen enn det var nærare kanalen, der innhaldet av leire og silt var større.

Tabell 1 syner at den grøfta myra hadde låg jordtettleik, forholdsvis lågt luftvolum

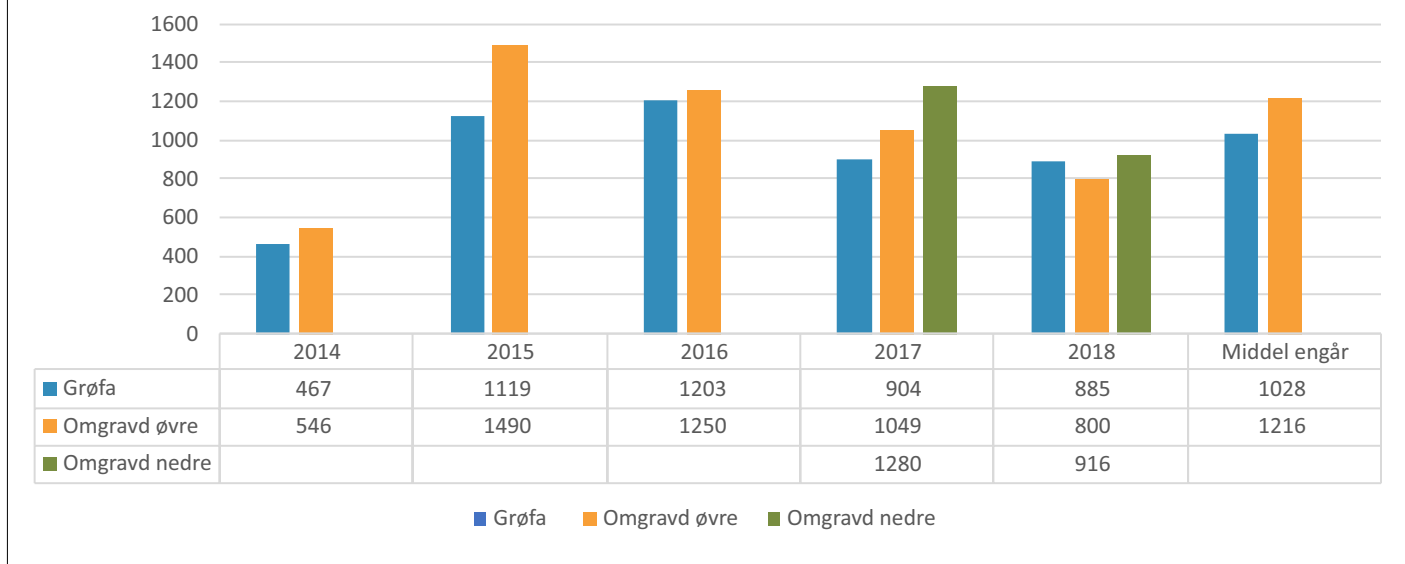
og låg metta vassleiingsevne. Den hadde eit stort innhald av plantetilgjengeleg vatn, noko som er positivt for plantene sin vass-tilgang i tørre år. Jordtettleiken var høg på omgravd areal, og jorda var dermed meir beresterk slik at ein lettare kjem seg utpå med landbruksmaskiner og kan drive arealet. Jord med fin tekstur er likevel utsett for jordpakking. Prøvene i 2017 frå arealet

nærast kanalen viste svært låge verdiar for luftvolum. Registrert luftvolum er lægre enn det som vert rekna som kritisk ved definert dreneringssug (om lag 10 Vol%). Høg jordtettleik har samanheng med mykje finkorna materiale, og nivået indikerer pakkingseffekt. Fordelinga av porestorleik i dei to djupa for jordfysisk prøvetaking er i retning av meir mellomstore og små porer på nedre arealdel mot kanal. Det tilseier betre kapillær vasstransport. Jorda har svært låg metta vassleiingsevne, og drenerer dårleg, i motsetnad til på midten av profilen der metta vassleiingsevne er god. Det var også vesentleg fuktigare i overflata ved prøveuttak på nedre arealdel mot kanal.

	Jordtettleik (g/cm ³)		Luftvolum (Vol%)		Plante-tilgjengeleg vatn (vol%)		Metta vassleiingsevne (cm/t)	
	5-10 cm	25-30 cm	5-10 cm	25-30 cm	5-10 cm	25-30 cm	5-10 cm	25-30 cm
Grøfta (2015-2016)	0,2	0,2	10,3	9,4	55,4	62,2	9,7	6,8
Omgravd øvre (2015-2016)	1,6	1,7	16,1	16,7	18,5	12,8	26,5	29,0
Omgravd øvre 2017	1,7	1,7	13,4	13,0	19,9	19,1	10,8	11,9
Omgravd nedre 2017	1,9	1,8	4,1	7,4	20,6	17,9	0,1	0,3

Tabell 1: Jordfysiske eigenskapar i to djupner på grøfta og omgravd myr. Middel for sylinderprøver tatt ut i 2015 og 2016 på grøfta og omgravd øvre areal og resultat frå prøver tatt ut i 2017 på omgravd øvre og nedre areal.

Avling omgravd og grøfta myr i kg ts/daa 2014-2018



Figur 2: Engavling for omgravd øvre og grøfta myr i åra 2014 (gjenleggsår) til 2018 og middel for engåra, og for omgravd nedre i 2017 og 2018 (kg ts/daa).

Manuelle vasstansmålingar i vekstsesongen viste at på grøfta myr stod vatnet like under jordoverflata i periodar med mykje nedbør, medan vasstanden på omgravd areal for det meste var lågare enn -20 cm. Kontinuerlege målingar frå slutten av august 2017 til slutten av desember 2018 viser ein middel vasstand på -52 og -94 cm for høvesvis grøfta og omgravd myr. Det var tydeleg lågare jordfukt i toppsjiktet på omgravd enn på grøfta myr. Det var liten skilnad i gjennomsnittleg jordtemperatur, men temperatursvingingane var mykje større på omgravd enn på grøfta myr.

Større avling

I åra 2014 (attleggsår) til 2018 vart det registrert grasavling på toppen av profilen på det omgravde arealet (omgravd øvre). I 2017 og 2018 vart det i tillegg registrert avling nærmare kanalen (omgravd nedre). I middel for fire engår auka avlinga frå 1028 til 1216 kg ts/daa (18%) på omgravd areal (øvre) samanlikna med grøfta myr. Avlingsauken var størst i våte år, og i tørkeåret 2018 var det mindre avling på omgravd øvre areal enn på grøfta myr (Fig.2). I 2017 og 2018 var det størst avling på hausterutene som var etablerte i 2017 nærmare kanalen på omgravd nedre areal. Dette arealet fekk husdyrgjødsel i heile perioden fram til etablering i 2017, noko resten av feltet ikkje fekk. I tillegg var mineralmassen som låg oppå myra meir finkorna enn på toppen av profilen, og hadde dermed større evne til vassmagasinering slik at faren for tørke ved lite nedbør vart redusert som i den tørre

vekstsesongen 2018. Avlingsnivået både på tradisjonelt grøfta myr og på omgravd myr var høgt.

Meir timotei

Felta var sådde med ei blanding av timotei (70%), engsvingel (20%) og engrapp (10%) og på omgravd areal var innhaldet av timotei 60-70% og innslaget av villgras under 5% i tredje engår. På grøfta myr var timoteien redusert til under 40%

«I topplaget må det ikkje blandast inn torvjord.»

og innslaget av villgras var over 15%. Det dominerande villgraset som kom inn på grøfta myr var manngras (Glyceriaslekta), ein grasart som trivst der det er vått. Høgre innhald av timotei og mindre villgras har vore med å oppretthalde avling og avlingskvalitet på omgravd areal. Førsteslåttsavlinga hadde alle år høgre energiverdi på omgravd enn på grøfta myr, og noko av grunnen kan vere eit høgre innhald av timotei, som er seinare i utvikling enn dei andre artane.

Praktiske råd

Mineralmasse som er godt eigna som topplag ved omgraving av myr har variert kornfordeling, og ikkje for høgt innslag av leire og silt. I topplaget må det ikkje blandast inn torvjord. Moldblanda mineraljord (matjord) kan nyttast i avgrensa mengde i øvste jordlaget. Profilerings av arealet samstundes med omgraving er tilrådd, særleg i område med mykje nedbør og når mineralmassen har høgt innslag av leire og silt. Kanalkant må ikkje sperre for overflateavrenning, då overflateavrenning er ein del av samla dreneringsstrategi og for å førebyggje mot overvintringsskade. Mineralmasse med høgt innhald av leire, silt og finsand har stor vasslagringsevne, og tørkar seint. Tidspunkt for slått og tal slåttar for å redusere fare for jordpakking må vurderast nøye ut frå jordart i topplaget og klimaet lokalt. Mineralmasse frå undergrunnen kan ha reservar av kalium som K-HNO₃, og som gjer at kalking med magnesiumumhaldig kalkslag er naudsynt sjølv om jordanalysar isolert syner at Mg-AL er tilfredsstillande. Dette for å sikre avling med tilstrekkeleg innhald av magnesium og kalsium. I forsøket vårt auka avlinga på omgravd øvre areal frå 1008 til 1206 kg TS/daa (20%) ved å auke gjødslinga frå 18 til 26 kg N/daa, og ein fekk dermed bra effekt av auka gjødsling. Bruk av husdyrgjødsel vil vere positivt for tilføring av ulike næringsstoff og organisk materiale.



Markdag på forsøksfeltet i Fræna: Omgraving som dyrkings- og dreneringsmåte har hatt størst omfang i fylka Møre og Romsdal, Hedmark, Nordland, Trøndelag og Finnmark. Også ved ny drenering av tidlegare dyrka myr, i form av omgraving, er det i fleire av desse fylka at omfanget er størst. Frå 2013 er det statistikk i Landbruksdirektoratet over ulike dreneringsmåtar nytta ved ny drenering. Foto: Sissel Hansen

Omgraving av grøfta myr som klimatiltak

Omgraving av tidlegare grøfta myr reduserer utslepp av metan frå myra, men laget med mineralmasse bør være nær éin meter. Nitrogengjødsel er kjelda til lystgassutslepp frå næringsfattig myr.

Synnøve Rivedal (NIBIO), Sissel Hansen (NORSØK), Peter Dörsch (NMBU), Sverre Heggset (Landbruk Nordvest) og Samson Øpstad (NIBIO)

I ei omdanna myr er det ofte vanskeleg å få grøftene til å fungere. Grøfta myr der dreneringa ikkje fungerer optimalt kan ha store utslepp av metan (CH_4). I Fræna i Møre og Romsdal har gardbrukarar gjennom lang tid grave om myra for å betre dei agronomiske tilhøva i jorda. Ved omgraving blir mineralmasse lagt oppå myrjorda, men med skråstilte lag gjennom myra for å drenere vekk vatn. I tillegg blir teigen profilert slik at vatnet renn av og i opne grøfter på kvar side. Vi målte utslepp av klimagassane metan og lystgass i eng på omgravd og grøfta myr på Hustad i Fræna. For å undersøke nedbryting av torva blei det og målt oksygenkonsentrasjon i den nedgravne torva og utslepp av CO_2 over myra.

Reduserte metanutslepp

Vi fann at metanutsleppet frå den grøfta myra var stort og mykje større enn frå udyrka myr. Metanutsleppet var størst i våte år. I omgravd myr fann vi berre små utslepp av metan (Figur 1). Resultat frå målingar av konsentrasjon av metan i jordluft på omgravd areal viste at det var stor produksjon av metan i den nedgravne torva. Metankonsentrasjonen minka etter kvart som ein nærma seg jordoverflata slik at utsleppa blei svært små. Det er metanoksiderande bakteriar som omdannar metan til CO_2 . Det er

gunstig fordi metan har ein mykje høgare oppvarmingseffekt enn det CO_2 har. Dei to første åra hadde vi gassmålingane på toppen av profilet. Der var laget med mineralmasse som dekkta torva rundt éin

«Det er metanoksiderande bakteriar som omdannar metan til CO_2 »

meter og vi fann ingen utslepp av metan. Dei to siste åra var målingane nærmare den opne grøfta, og laget med mineralmasse var på det minste berre 45 cm. Det var ikkje nok til å hindre utslepp av metan.

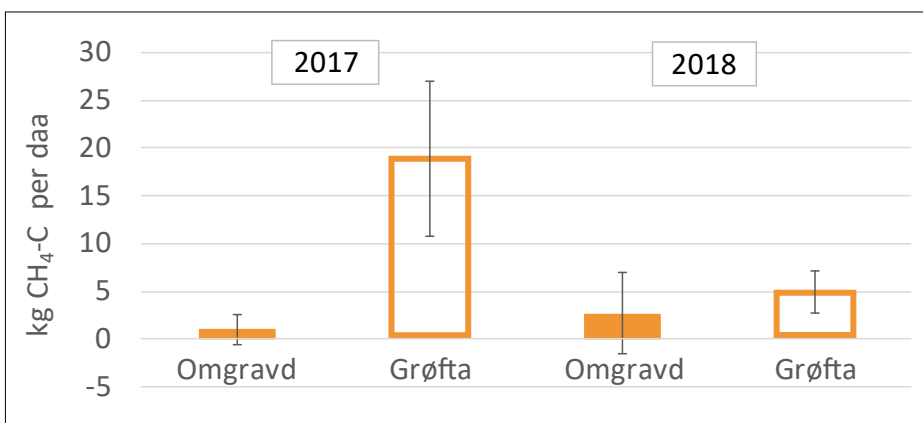
Gjødselinduserte lystgassutslepp

Utslepp av lystgass (N_2O) kom etter gjødsling både der myra var omgravd og der ho var grøfta. På ugjødsla målepunkt var det lite utslepp av lystgass. Det var høgare utslepp av lystgass på mineraljorda (omgravd myr) enn vi hadde forventa, og høgast var utsleppa i 2017 (Figur 2). Då fann vi at utsleppa av lystgassnitrogen var 3,3-4 % av nitrogen tilført med gjødsel. Det er mykje høgare enn det vi fann på dreneringsfeltet i Askvoll. Særleg på arealet ned mot den opne grøfta på feltet i Fræna var mineralmassen finkorna (50% silt og 15% leire) og drenerte dårleg. I våte år førte dette til høgt vassinnhald og lågt luftinnhald i jorda, sjølv om ein hadde effekt av overflateavrenning. Jorda var dessutan vanskeleg å kalke rett på grunn av sjikt med silt som hadde høg pH og sjikt med skarp sand som var svært sur. Sur jord hindrar omdanning av lystgass (N_2O) til N_2 , og kombinasjonen våt og sur jord kan vere årsaka til det høge lystgassutsleppet i 2017.

I 2018 var utsleppa av lystgass mindre. Det kan skuldast at det var tørrare i 2018 og at jorda blei kalka om våren. Måling av pH hausten 2019 synte at pH varierte frå 5,7 til 6,5 i rammene der gassmålingane blei gjort.

Beskyttar mineraldekket torva?

Kontinuerlege målingar inne i den nedgravne torva viste låge O_2 -konsentrasjonar. På grøfta myr målte vi i den tørraste perioden sommaren 2018 rundt 15 vol % O_2 heilt ned til 55 cm djupne. Under det tjukkaste dekket av mineralmasse (ca. 90 cm) var O_2 -konsentrasjonen i torva 0 gjennom heile perioden, medan den under eit tynnare dekke var i overkant av 7% i den tørraste perioden i 2018. Målingar med mørkekammer i døgnet etter slåtane i 2018 viste at det var mykje lågare CO_2 -frigjeving i omgravd enn i grøfta myr.



Figur 1: Samla utslepp av karbon som metan i åra 2017 og 2018 på omgravd og grøfta myr.



Måler det usynlege: Sverre Heggset måler utslipp av lystgass og metan på omgravd og grøfta myr i Fræna. Foto: Peter Dörsch.

Undersøkingane våre kan oppsummerast slik:

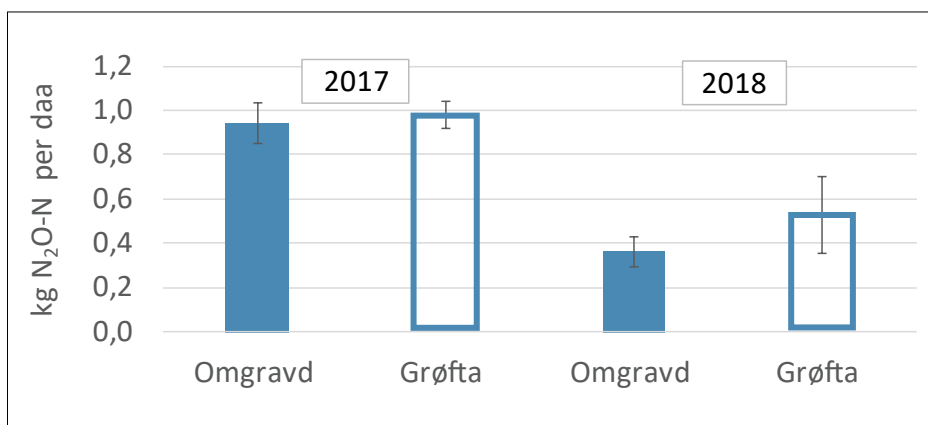
Lystgass

- N₂O-utslipp frå næringsfattig myr er

gjødselindusert både ved grøtting og omgraving.

- Nivå på N₂O-utslippa varierer med vêrforhold, særleg rundt gjødsling.

- På omgravd myr er tekstur, jordfysiske eigenskapar og pH til mineralmassen avgjerande for nivå av N₂O-utslipp.



Figur 2: Samla utslipp av nitrogen som lystgass i åra 2017 og 2018 på omgravd og grøfta myr.

Metan

- Grøfta myr der dreneringa ikkje fungerer optimalt kan ha store CH₄-utslipp.
- CH₄ produsert i nedgraven torv blir oksydert i mineraldekket over torva.

CO₂

- O₂- og CO₂-målingar tyder på at dekket med mineralmasse kan beskytte torva mot nedbryting.

Moldinnhald i jord, samanheng mellom driftsmåte og klima

Langvarige forsøksfelt i landbruket kan gi viktig informasjon til debatten om klima og karbonbinding i jord.

Samson Øpstad, Hugh Riley og Ilevina Sturite (NIBIO)

Det er eit auka fokus på innhaldet av karbon i jord, mykje grunna klimadebatten i samfunnet, om - og korleis ein kan auka bindinga av karbon i jord. Langvarige forsøksfelt i landbruket kan koma til nytte med opplysningar og kunnskapsbidrag på område som i utgangspunktet ikkje var sett på som det primære.

Dei langvarige forsøksfelta i engdyrking som vart lagt ut på Særheim i 1968 og på Fureneset i 1974, skulle samanlikna driftsmåte med varig eng og eng som vart fornya med tre og seks års mellomrom. Ein granska effekt av to- og tre gonger slått utan beiting og to opplegg med vår- og/eller haustbeiting med sau eller storfe. Ei tidleg formidling frå forsøksfelta var artikkelen «Langvarig eller kortvarig eng – slått eller beiting» av Markus Pestalozzi i Vestlandsk Landbruk. Seinare er det formidla ymse frå prosjektet, m.a. ei oppsummering av avlingsresultat og botanisk samansetjing av Sturite m. fl. i 2014.

Hausten 2013 og 2014 vart det teke ut

uforstyrta sylindrerprøver av jord i fleire djup på forsøksfelta for måling av eventuelle endringar i jordfysiske forhold, og av glødetap i jorda som eit uttrykk for moldinnhald og karbon i jorda, og korleis det fordeler seg nedover i jorda og om driftsmåten har hatt innverknad på totalinnhald og fordeling.

Materiale og metodar

Forsøka frå 1992 til 2016 har hatt tre gjentak og fire forsøksledd med ulik engalder/omlaup og utan beiting.

V1: Varig eng utan fornying sidan forsøksstart

V2: Varig eng etter fornying i 1992

E6: Seksårig omlaup med eng, pløying og direkte attlegg

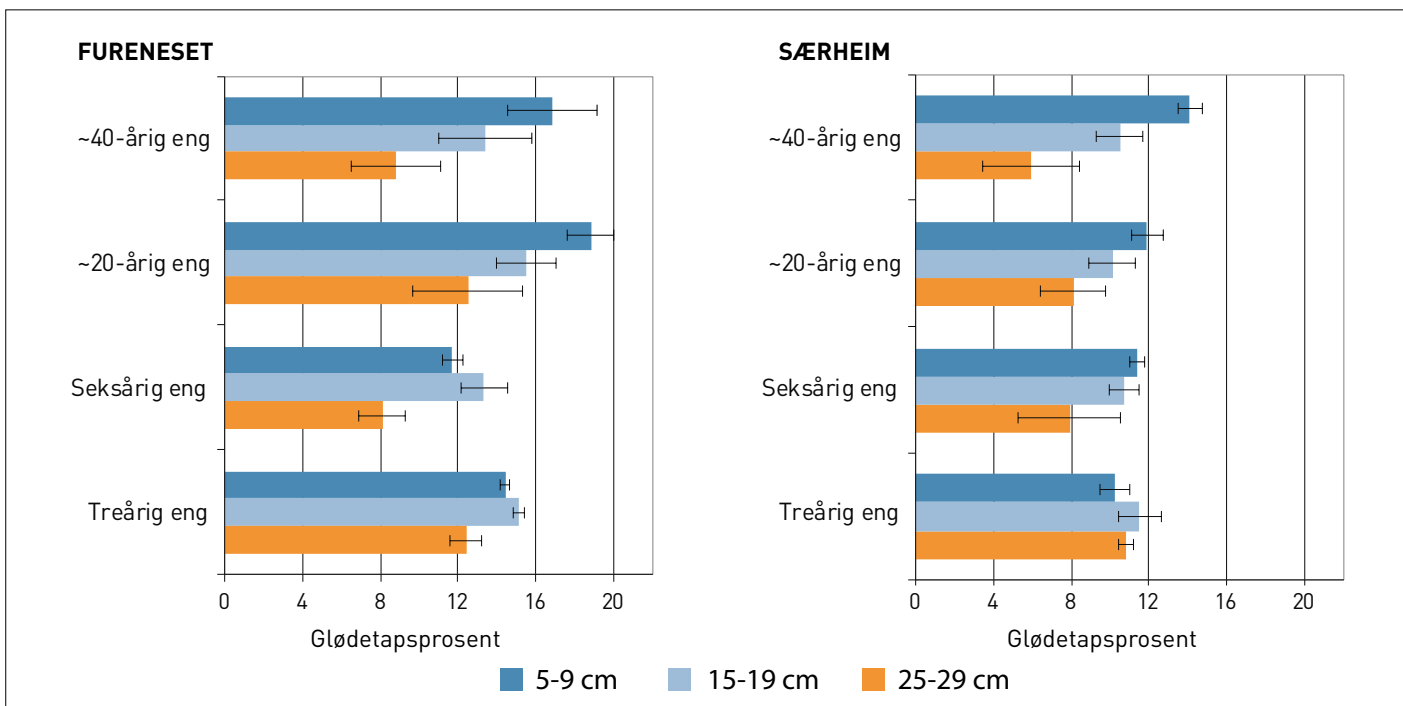
E3: Treårig omlaup med eng, pløying og direkte attlegg

Forsøksrutene er delte opp i behandlingar med mineralgjødning (Fullgjødning), og kombinasjon av husdyrgjødning (gylle) og mineralgjødning. For begge gjødnings-



alternativa har det vore ei vidare deling i normal gjødning (21 kg N/daa) og sterk gjødning (32 kg N/daa).

Prøveuttaket av jord i stålsylindrar vart gjort frå tre djupnelag i jorda; 5-10 cm, 15-20 cm og 25-30 cm, frå ruter der det vart gjødsla moderat med kombinasjon husdyrgjødning og mineralgjødning. I gjennomgangen her av forsøksmaterialet vert berre omtala jordart, og av forsøksresultata glødetap som uttrykk for innhaldet av karbon. Innverknad på



Figur 1: Sjøkkfordeling av organisk materiale i jorda (målt som glødetap). Både på Fureneset og Særheim hadde varig eng høgast innhald av organisk materiale i det øvste jordsjøkket. Seksårig eng hadde jamn fordeling ned til 20 cm, treårig eng jamn fordeling ned til 30 cm.

«Variasjon i moldinnhald er truleg sterkaste forklaringsgrunn til ulikskap i vasslagringsevne.»

jordfysiske forhold som vasshushalding og luftinnhald vert berre kort nemnt.

Jorda på forsøksfelta

Mineraljorda i forsøksfeltet på Fureneset er siltig sand, med om lag 50-60 % sand der størstedelen av sandfraksjonen er finsand. Silt utgjer om lag 40 % og leir om lag 5 %. Innhaldet av silt og leir aukar svakt med djupna. Mineraljorda på Særheim er også siltig sand, der med om lag 65 % sand. På Særheim er innhaldet av grovsand og mellomsand litt høgare enn på Fureneset, men finsand er her også dominerande sandfraksjon. Silt utgjer 33 % og leir 4 %. Innhaldet av grus i jorda var lågt begge stader. Jordteksturen var såleis nesten lik på dei to forsøksfelta.

Moldinnhaldet i jorda, påverknad av omlaupslengde

Glødetapet, som uttrykk for moldinnhaldet i jorda, var relativt høgt på begge felta og høgast på Fureneset. Ved bruk av formel for omrekning for moldrik jord, var middels moldinnhald i sjiktet 0-30 cm om lag 8 % i feltet på Særheim og 11 % på Fureneset. Begge stader er i klasse moldrik jord (6-12 % mold). På forsøksledda med

varig eng var moldinnhaldet i øvre jordlag ved prøvetaking høgare enn i dei underliggjande laga, og vert kjenneteikna som svært moldrik jord (12-20 % mold).

I forsøket på Fureneset var moldinnhaldet i det øvste jordlaget (5-10 cm) høgare på dei to ledda med varig eng enn på ledda med kortvarige omlaup, men skilnadane innanfor dei to hovudgruppene var ikkje statistisk sikre.

I forsøket på Særheim var moldinnhaldet i det øvste jordlaget på leddet med varig eng frå 1968 statistisk sikkert høgare enn på dei andre forsøksledda, og leddet med varig eng frå 1992 hadde høgare moldinnhald i øvre jordlag enn eng som var fornya etter tre års omlaup. På begge forsøksfelta var det teikn til ei jamnare fordeling av moldinnhaldet i djupna 0-30 cm på leddet med treårig omlaup enn på dei andre ledda, men utslaga var ikkje statistisk sikre. Summane av totalinnhaldet av organisk materiale i heile denne djupna synte ingen sikre skilnader mellom dei fire ulike engomlaupa, korkje på Fureneset eller Særheim. Som nemnt tidlegare var fordelinga av organisk materiale i jordlaga litt ulik, i langvarig eng høgare innhald i øvste jordlag, i kortvarig eng

ei meir jamn fordeling i dei undersøkte jordlaga. Driftsmåten har verka til dette.

Påverknad av omlaupslengde på andre forhold

På Fureneset var det høgare innhald av grus i det øvste jordlaget på leddet med treårig omlaup enn på dei andre, som tyder innblanding av jord frå undergrunnen ved pløying. Dei same trendane vart funne for vasslagringsevne i jorda ved ulike dreneringssug (laborativeverdiar, pF-nivå) som for totalt porevolum. Varig eng hadde høgast porevolum, og størst vasslagring i det øvste jordlaget, medan eng fornya ved treårig omlaup hadde stor vasslagring i dei djupare jordlaga. Variasjon i moldinnhald er truleg sterkaste forklaringsgrunn til ulikskap i vasslagringsevne. Jorda sin luftkapasitet, målt som volum % luft ved pF 2, var tilstrekkeleg høgt på begge felta med høvesvis 10 % i gjennomsnitt på Fureneset og 12 % på Særheim. Luftkapasitet i jorda er difor ikkje avgrensande for plantevekst, med unnatak av periodar med mykje nedbør over tid. Slike forhold førekjem mest på seinsommar-haust knytt til mykje samanhengande nedbør, lågare temperatur, og mindre fordamping.

Figur 2: Jordprofil frå langvarig tidsserie i eng frå Fureneset (A) og Særheim (B). Jordfargen i det ein definerer som ploglaget (A-sjikt) er markert mørkare begge stader. Jordfargen på B- og C-sjiktet i jordprofillet på Særheim (brungult) indikerer betre naturleg drenering av vatn enn jordprofillet på Fureneset. På Fureneset har øverste del av B-sjiktet preg av overgang frå A-sjiktet, C-sjiktet (sandig silt, med 5-10 % leir) er gråleg og indikerer ufullstendig drenering. Foto: Christophe Moni



Auka karbonbinding i jordbruksjord

Kva er utfordringane, og kva kan vera mogeleg?

Samson Øpstad, Ilevina Sturite,
Hugh Riley og Daniel Rasse (NIBIO)

Avtalepartane i jordbruksoppdraget ba våren 2018 om ei utgreiing som synleggjer kunnskap- og kunnskapshol vedkommande karbonfangst i jord. NIBIO leverte i mars 2019 rapporten *Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord*. Rapporten gjev ei vurdering av potensialet for ulike tiltak, peikar på kunnskapshol og gjev tilråding om aktuelle tiltak som norsk landbruk kan nytta for å auka karbonbindinga i jord. Rapporten føreset at Noreg framleis arbeider etter mål om både auka matproduksjon og auka sjølvforsyningsgrad. Beiting i utmark som bidreg til matproduksjon er del av gjennomgangen attåt bruk av det dyrka arealet.

Stort karbonlager

Jord inneheld samla mykje meir karbon enn atmosfæren. Sjølv små endringar i innhaldet av karbon i jord kan ha verknad på CO₂-innhaldet i atmosfæren, og dermed på det globale

klimaet. Ein stor del av karbonhaldig materiale produsert i fotosynten vert transportert til - og lagra i rotmassen, som vert gradvis brote ned, men der noko vert omdanna og lagra i eit sakte veksande karbonlager.

«Fokus må vera både å ta vare på- og auka lagringa av karbon i jorda der det er mogeleg.»

Intensiv jordbruksdrift med ein-sided åkerdrift, utan tilbakeføring av organisk materiale i form av planterestar, fangvekstar og/eller organisk gjødsel, fører til reduksjon av innhaldet av karbon i jorda. Omlegging av åkerdrift til gras i åkerjordsområda i Noreg i dei beste klimasonene kan føra til auke i karboninnhaldet i jorda, men vert ikkje vurdert som noko effektivt klimatililtak grunna utslepp av metan ved fordøying av gras. Redusert kornproduksjon som dette vil føra til vil dessutan medføra auka import og redusert sjølvforsyning.

Auke av kornproduksjon i grasområda er ikkje utan utfordringar, og har avgrensingar. Åkerdrift i større omfang i

regnrikt vêrlag er utfordrande, særleg på jord med høgt innhald av organisk materiale og/eller høgt innhald av silt og leir. Det er òg utfordrande både driftsmessig og ut frå erosjonsrisiko, tap av næringsstoff og frislepp av klimagassar.

Djupare røter

For grasdyrkingsområda, som utgjer grovt to tredeler av norsk jordbruksareal, er det viktig å fokusera på desse utfordringane med omsyn til karbonbinding i jord:

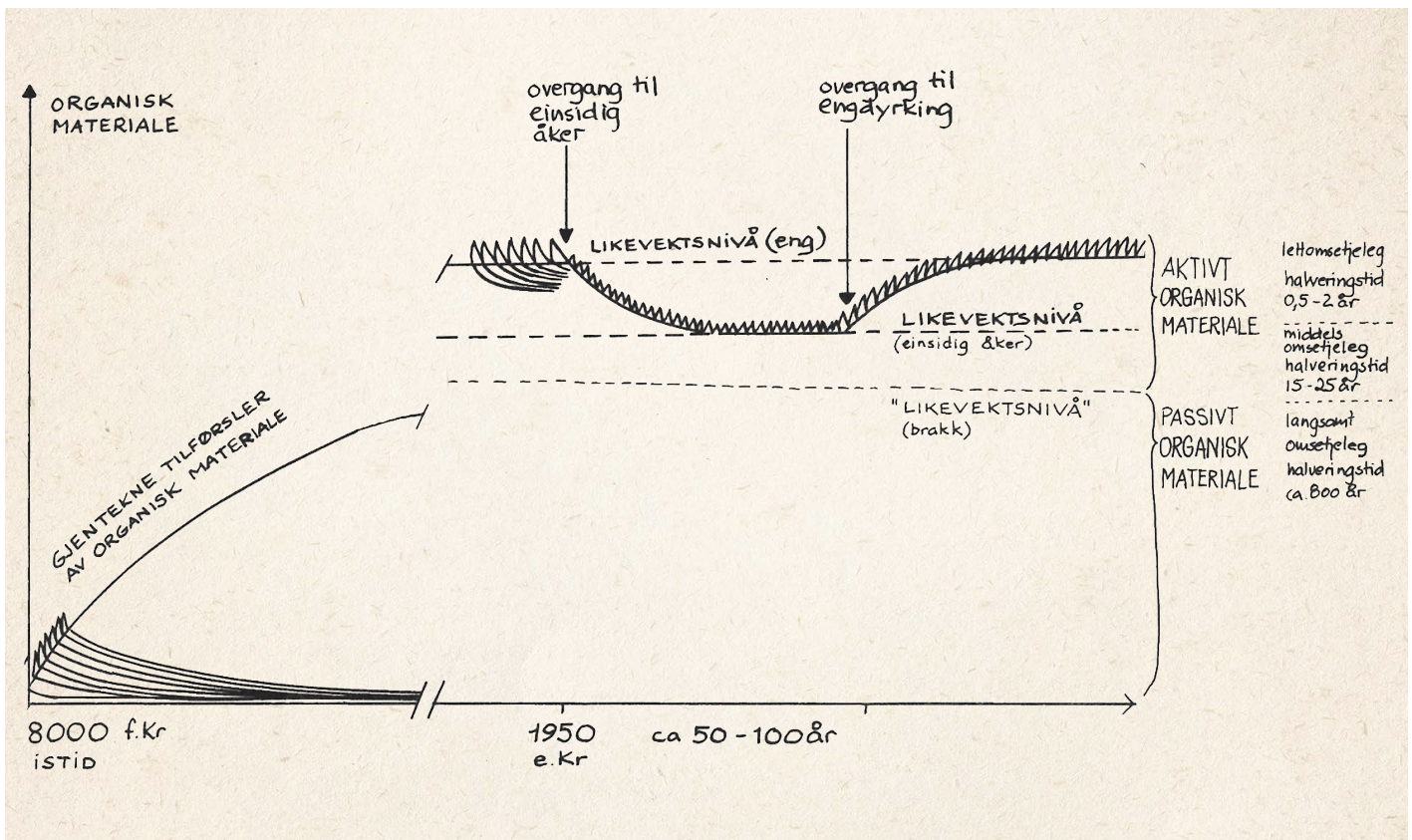
- bruk av organiske ressursar; husdyrgjødsel, slam, kompost
- forbetra drift av eng
- bruk av planter med større og/eller djupare rotsystem

Det er synleggjort at husdyrgjødsel og andre organiske gjødselslag og jordforbetningsmiddel aukar innhaldet av organisk materiale i jorda. Bruken av husdyrgjødsel og anna organisk gjødsel og materiale, er det rom for å betra og auka verknaden av. Omfanget av effekt på auka karbonbinding i jord vil variera, mellom anna avhengig av jordart, jordfysiske tilstand og truleg ikkje minst grunna innhaldet av organisk materiale i jorda i utgangspunktet. For mykje av norsk engareal er potensialet for auka binding av karbon avgrensa, då innhaldet av organisk materiale i jorda alt er høgt. Ein er ved eller nær grensa for bindingskapasitet i øvre jordlag. Alternative mål om å oppretthalda eit høgt innhald av karbon i jorda som har bygd seg opp over lang tid grunna kjøleg klima og samspel mellom klima, jord og driftsmåte, og å unngå reduksjon av karbon i jorda, er difor mest aktuelle.

Driftsmåte og binding av karbon i jord

Endra driftsmåte, til dømes ved vekstskifte og engfornyng der engareal vert liggjande som ope areal gjennom vintren eller som brakkareal utan vegetasjon over tid, kan føra til tap av karbon. God drift av eng, som gjev god avling og har god rotutvikling, er viktig for å halda





Opp- og nedbygging: Skisseteikning som viser hovudprinsipp for oppbygging og nedbryting av organisk materiale i jord.

Merk skilnaden mellom aktivt organisk materiale som er lettomsetteleg, og passivt organisk materiale som er stabilt over svært lang tid.

Kjelde: Breland 1992 Faginfo Nr. 19. Figur: Bibbi Torbjørnsen.

oppe karbonmengda i jorda. Det vert forska på bruk av gras- og belgvokstrar med djupt rotsystem og verknad på avlingsmengd og avlingsstabilitet. Så langt er det ikkje forskning i gang under norske tilhøve for å undersøkje omfanget og verknaden av røter i djupare jordlag på potensial for lagring av karbon i jorda. Ut frå ei teoretisk tilnærming har jorda under det øvste jordlaget ut frå eigenskapar ved mineralogi (opphavsmateriale og kornstorleik/tekstur) bindingskapasitet slik at karbon kan gå inn i sambindingar som er stabile i eit langtidsperspektiv. Situasjonen med redusert luftveksling i djupare jordlag vil sannsynleg verka til stabilitet, sameleis at påverknaden av jordarbeiding er mindre. Sopp og meitemark kan bidra til danning av jordaggregat, som verkar til fysisk vern mot mineralisering. Fokus må vera både å ta vare på - og auka lagringa av karbon i jorda der det er mogeleg. Størst potensial for å auka innhaldet av karbon i jord er det der det er djup mineraljord og moldinnhaldet er lågt.

Omsyn til særnorske forhold

Omtalen her har vektlagt forhold knytt til norske jord- og klimaforhold, og særleg knytt til grovfôrområda. Utanlandsk

gransking kan ikkje utan vidare overførast til norske tilhøve. Vi må ta omsyn til at vi har avgrensa med jordbruksareal, og at klimaet og vêrtilhøve set grenser for kva som er mogeleg å dyrka ved re-

«For mykje av norsk engareal er potensialet for auka binding av karbon avgrensa, då innhaldet av organisk materiale i jorda alt er høgt.»

levant driftsmåte. Grovfôrproduksjon er på om lag to tredelar av innmarksareal, og beiteressursane i utmark er store. Forvaltning og bruk av utmarksressursane må trekkjast inn i heilskapstenking

når det gjeld ressursnyting og forskning. Bruken av utmarka har stor verknad på kulturlandskapet, og på grunnlaget for biologisk mangfald. Granskningar i Noreg har vist at ei vidareføring av beiting med lågt til moderat beitetrykk i utmarka, er heldig val for det som er omtala som økosystemtenester. Gras er det som er dyrkingsvalet på dyrka areal når klimaomsyn og samspel mellom jord og vêrtilhøve set grenser. Dette grasareal og utmarksareal bruka til beite gjev grunnlag for mykje av den norske matproduksjonen, særleg protein- og energiforsyning i form av mjølk og kjøtt, og for lagring og potensiell oppbygging av karboninnhaldet i jord.

Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO Rapport, Vol. 5, Nr. 36, 2019

Kva betyr pH og kalking på utslepp av klimagassar?

Under norske forhold, der denitrifikasjon er hovudårsaka til danning av lystgass, vil auka pH i jorda kunne redusere faren for høge lystgassutslepp.

Synnøve Rivedal (NIBIO), Peter Dörsch (NMBU), Aina Lunden Russenes (NIBIO) og Samson Øpstad (NIBIO)

Ein stor del av den dyrka jorda i Norge har sitt opphav i kalkfattige bergartar og har i utgangspunktet låg pH. Store nedbørsmengder vaskar ut bl.a. kalsium og magnesium, og bruk av mineralgjødning med ammoniumnitrat verkar forsursande på jorda. Det meste av jordbruksarealet treng dermed både grunnkalking og vedlikehaldskalking for å oppnå god avling og kvalitet i planteproduksjonen. pH-kravet varierer med plantart og jordtype. Generelt reduserer låg pH tilgjenge av næringsstoff, fører til redusert rotvekst på grunn av forgifting, reduserer omsetninga av organisk materiale og fører til dårleg jordstruktur. For sterk kalking kan føre til binding og vanskar med opptak av fleire næringsstoff, m.a. fosfor og kopar. Sterk kalking av jord med høgt innhald av organisk materiale, og samstundes god luftveksling, fører til større nedbryting av organisk materiale og auka utslepp av CO₂.

Bruk av tradisjonelle kalkslag som kalksteinsmjøl og dolomitt fører til eit visst utslepp av CO₂. Dette blir rapportert som utslepp frå jordbruken, og for Norge sin del er det estimert til rundt

2% av jordbruken sin verknad på klima. I IPCC sine retningslinjer for utrekning av utslepp går alt karbonet som er tilført gjennom kalk tapt som CO₂, men dette er svært omstridt. Det vi derimot veit er at pH kan ha stor innverknad på utsleppet av lystgass (N₂O), som vist i fleire utlandske og norske inkubasjonsforsøk (Fig.1) og feltforsøk. Det er uheldig at eit usikkert estimat for CO₂-utslepp står i vegen for å bruke kalking som eit tiltak for å redusere lystgassutsleppa.

Forsøk i eng på Fureneset

På 70-talet vart det etablert forsøksfelt på Fureneset der ein undersøkte tilføring av stigande mengder skjelsand og morenejord i overflata av nydyrka myr. Dette gav sikker og langvarig auke i engavling og positive utslag på jordfysiske eigenskapar (Sognnes m.fl. 2006). Jord frå feltet vart nytta i grunnleggande laboratorieforsøk ved NMBU der ein undersøkte effekten av pH på utslepp av lystgass. Mørkved m.fl. (2007) fann at god kalktilstand i jorda etter tilførsel av skjelsand reduserte utsleppet av lystgass frå organisk jord.

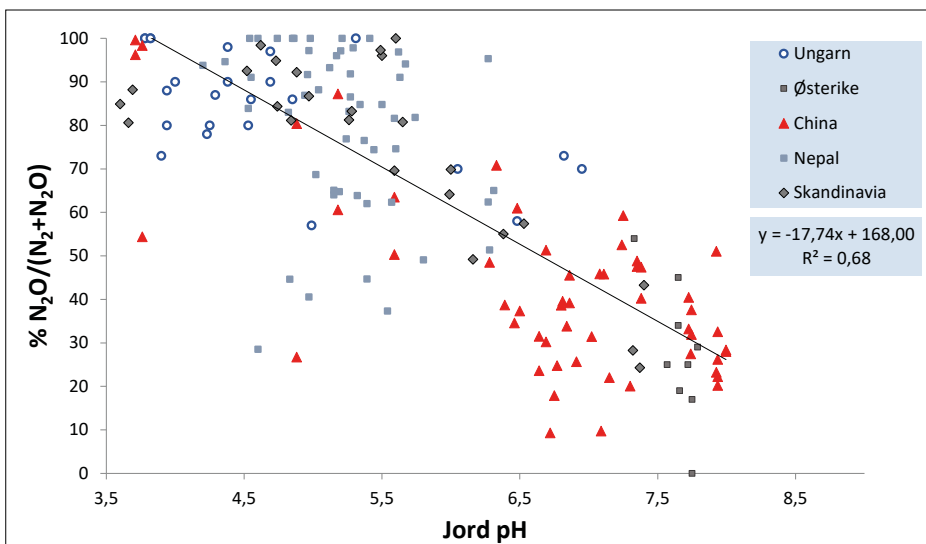
Hovlandsdal (2011) undersøkte deretter om ein fekk same effekt av pH på lystgassutslepp i felt. Det vart gjennomført målingar i perioden etter 2. gjødning (9,5 kg N/daa frå fullgjødning) i 2010 på ubehandla myrjord (pH 4,6), myrjord tilført morenemasse (pH 5,3) og ulike mengder skjelsand (pH 6.3-7.3). Aukande pH gav sikker reduksjon i lystgassutsleppet i perioden etter gjødning (Fig. 2). Det var generelt høge lystgassutslepp i rundt to veker etter gjødning, og med ein markert topp i samband med mykje regn nokre dagar og registrert nær full vassmetting i jorda. Etter det gjekk utsleppet raskt tilbake. Dette tyder på at utsleppet var gjødselindusert og ikkje knytt til nedbryting av organisk materiale i myrjorda, noko som seinare og er funne i andre forsøk.

Forsøk i korn på Apelsvoll

I feltforsøk med vårkveite på Apelsvoll studerte Russenes m.fl. (2016) lystgassutslepp i perioden etter høsting i september 2009 til mai våren etter i ein stubbåker med små naturlege variasjonar i pH (5.8-6.3). Jordarten på feltet var morenejord, klassifisert som siltig lettleire. Der pH var høgast var det eit tydeleg mindre lystgassutslepp haust og vår enn der pH var lågast, trass i at pH-variasjonen var liten (Fig.3). Dette er verdiar som ligg innanfor anbefalt pH til planteproduksjon i Norge, men berre ei lita auke i pH i jorda kan likevel påverke lystgassutsleppet mykje.

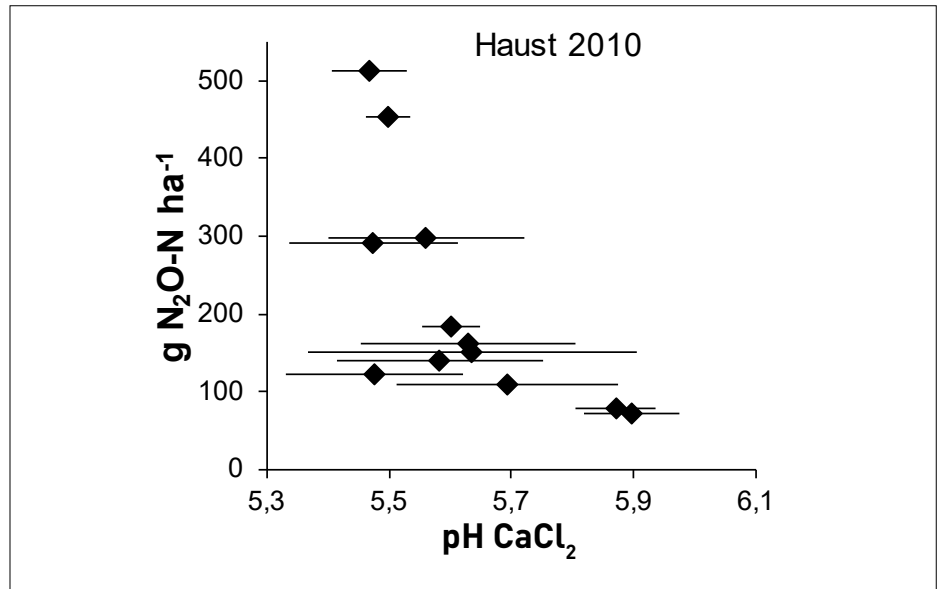
Kalkingsforsøk på Ås

På Ås vart effekten av å tilføre kalsitt, dolomitt og olivin på lystgassutslepp testa sommaren 2019, på areal der jorda var mellomleire. Kalkinga vart utført i 2014 og rutene vart vedlikehaldskalka våren 2019, etter haustpløying av kløverhaldig eng hausten 2018. Etter kalkinga vart det sådd vinterkveite som grøngjødning og gjødsla med 5 kg N/daa. Vinterkveiten vart mulcha to gonger i vekstsesongen. Dette, saman med nedmolding av enga



Figur 1: Samanhengen mellom andel N₂O som denitrifikasjonsprodukt og pH i ulike jordprøver under inkubasjon på laboratoriet.

Figur 3: Samla lystgassutslepp over 56 dagar hausten 2010 frå jord med små-skala variasjon i pH på Apelsvoll.



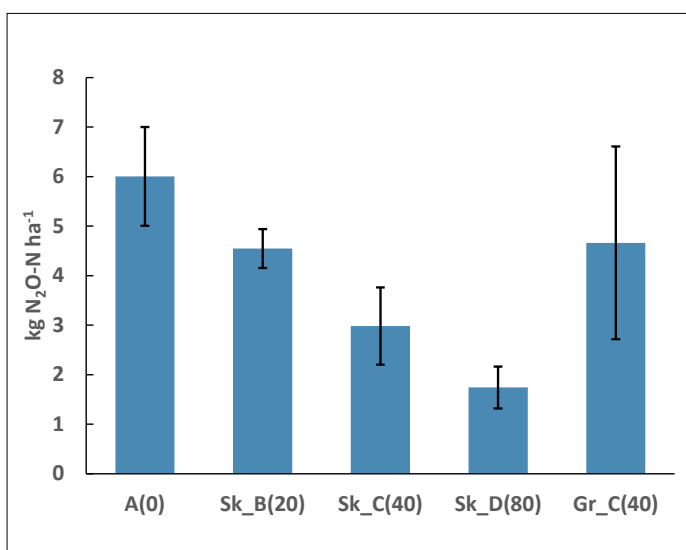
året før, forklarar høgt lystgassutslepp gjennom måleperioden. pH-verdiane i jorda var 5.2, 6.3, 6.4 og 6.9 for høvesvis kontroll, olivin, dolomitt og kalsitt. Kalking reduserte lystgassutsleppet i periodar med høge utslepp, men ein fann ikkje sikre skilnader i effekt mellom dei ulike kalktypene (Fig.4).

Korleis kontrollerer pH lystgassutslepp?

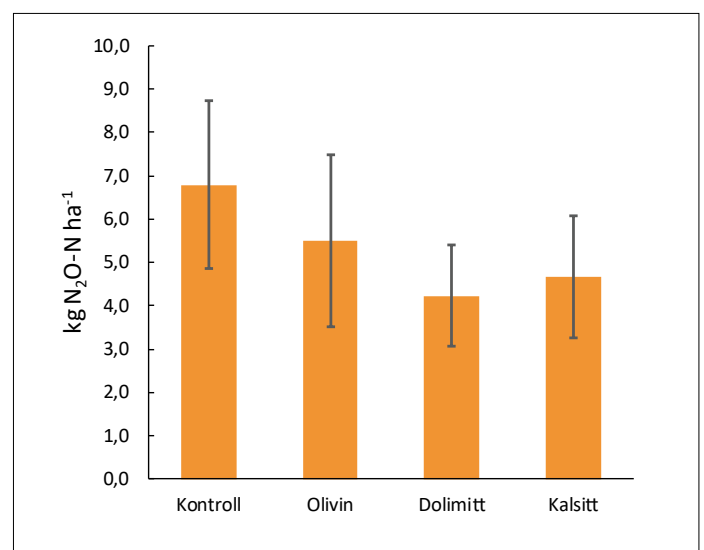
Plantene tek opp nitrogen både som ammonium (NH₄⁺) og nitrat (NO₃⁻). I jorda vert NH₄⁺ gradvis omdanna til NO₃⁻, avhengig av pH og lufttilgang. Under norske forhold, der jorda ofte er våt og det meste av mineralgjødsla inneheld rundt 50% nitrat, er denitrifikasjon den viktigaste kjelda til lystgassutslepp. Det er mikroorganismar som omdannar nitrat til lystgass og ufarleg N₂ i jorda når oksygenet blir borte: nitrat (NO₃⁻) => nitritt (NO₂⁻) => nitrogenoksid (NO) => lystgass (N₂O) => nitrogenogass (N₂)

Denitrifikasjon er den einaste kjende prosessen som kan omdanne lystgass til nitrogenogass. Nitrogenogass er ingen drivhusgass, og derfor er det viktig at det siste leddet i denitrifikasjonen fungerer. Dette er avhengig av enzymet N₂O-reduktase i denitrifiserande bakteriar, som fungerer betre i jord med høg enn med låg pH (Liu et al. 2010). Låg pH kombinert med forhold som aukar faren for denitrifikasjon (sterk N-gjødsling på dårleg drenert, pakka og våt jord) kan dermed gje høge lystgassutslepp. Her kan kalking og pH-heving vere med på å halde utsleppa nede, slik vi fann på dreneringsfeltet i Askvoll. Kalking aukar derimot ammoniakktap og nitrifikasjon:

ammonium (NH₄⁺) => nitritt (NO₂⁻) => nitrat (NO₃⁻) som også dannar lystgass, men i mindre mengder enn denitrifikasjon. Nitrifikasjonen si viktigaste rolle for lystgassutslepp er antakeleg forbruket av oksygen når ammonium blir omdanna til nitrat. Dette kan føre til oksygenmangel og dermed denitrifikasjon av nitraten. Verknaden av kalking på lystgassutslepp er såleis avhengig av om nitrifikasjon eller denitrifikasjon er den dominerande kjeldeprosessen. Under norske forhold, der jorda ofte er våt, og denitrifikasjon dominerer, bør kalking kunne redusere utsleppstoppane.



Figur 2: Samla lystgassutslepp i 20 dagar etter 2. gjødsling i 2010 for ulike behandlingar på myrjord på Fureneset. A(0)=utan behandling pH 4,6; Sk_B (20) pH 6,3; Sk_C (40) pH 7,1; Sk_D (80) pH 7,3 = høvesvis 20, 40 og 80 m³ skjelsand/daa og Gr_C (40) pH 5,3 = 40 m³ morene/daa tilført og blanda inn i øvre jordlag med rotorharv i 1977.



Figur 4: Samla N₂O-utslepp over 75 dagar sommaren 2019 for ulike kalkingsledd på Ås, der pH i jorda var 5.2, 6.3, 6.4 og 6.9 for høvesvis kontroll, olivin, dolomitt og kalsitt.

Redusert jordpakking, eit godt klimatiltak

Redusert jordpakking minkar lystgassutsleppet frå nitrathaldig gjødsel, reduserer nitrogenavrenning og ammoniakktap, og betrar vilkåra for næringsopptak og plantevekst.

Synnøve Rivedal, Ilevina Sturite (NIBIO),
Sissel Hansen (NORSØK) og Peter Dörsch (NMBU)

Jordpakking fører til færre store porer i jorda og redusert infiltrasjon av vatn. Etter nedbør på pakka jord vil ein mindre del av vatnet drenere til grøfter og undergrunn, og ein større del må fordampe frå jord og planter for at jorda skal tørke opp. Luftvekslinga går seinare og innhaldet av oksygen i jorda blir redusert. Faren for skadeleg jordpakking er størst på fin-korna jord som finsand, silt og leire, der innhaldet av store porar i utgangspunktet er lågt. Jord med svært høgt innhald av organisk materiale kan òg ha lite luftførande porer. Jordpakking fører til ei tettare jord og redusert rotvekst i djupare lag, noko som reduserer jordvolumet røtene kan hente næring og vatn frå. På ei tett jord kan overflateavrenninga auke, og ein kan få auka ammoniakktap frå husdyrgjødsel som blir liggande på overflata fordi infiltrasjonen er dårleg.

Nitrogenomsetning

Redusert luftinnhald i jorda påverkar den mikrobielle aktiviteten og omsetninga av nitrogen (N) frå husdyrgjødsel og handelsgjødsel. I husdyrgjødsel har ein både nitrogenen i organiske sambindingar og i form av ammonium (NH_4). For at organisk nitrogen skal bli tilgjengeleg for plantene må det mineraliserast og oksiderast til nitrat (NO_3) ved hjelp av mikroorganismar. Pakka jord med lite luft er negativt for mineraliseringa og nitrifiseringa, og dermed for utnyttinga av nitrogenet. I dei fleste mineralgjødseltypene brukt i Norge føreligg nitrogenet som ei 50/50 blanding mellom ammonium og

derast til nitrat (NO_3) ved hjelp av mikroorganismar. Pakka jord med lite luft er negativt for mineraliseringa og nitrifiseringa, og dermed for utnyttinga av nitrogenet. I dei fleste mineralgjødseltypene brukt i Norge føreligg nitrogenet som ei 50/50 blanding mellom ammonium og

«Pakka jord med lite luft er negativt for utnyttinga av nitrogenet.»

nitrat. Omdanning av ammoniumet både i husdyrgjødsel og mineralgjødsel til nitrat (nitrifikasjon) blir gjort av bakteriar som er avhengig av luft (aerobe). I denne prosessen kan det dannast lystgass dersom oksygentilgang er begrensa. I ei pakka jord med lite luft kan omdanninga frå ammonium til nitrat bli redusert og ammoniakktapet kan auke.

Denitrifikasjon

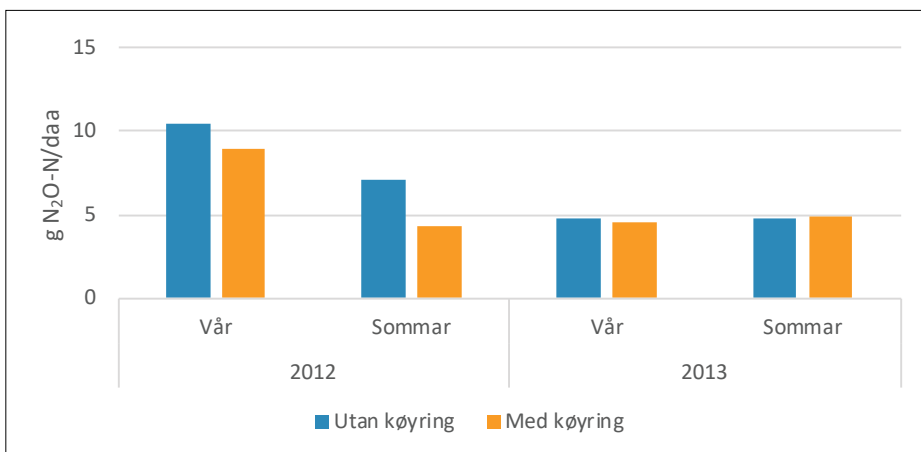
Ved avgrensa innhald av luft i jord kan nitrat bli omdanna (denitrifisert) til gasane nitrogenoksid (NO), lystgass (N_2O) og nitrogenogass (N_2) og tapt til luft. Mesteparten av lufta vår er nitrogenogass, som er ufarleg i klimasamheng då den ikkje bidreg til global oppvarming. Avhengig av ulike forhold i jorda, som til dømes lufttilgang og pH, kan prosessen stoppe opp på ulike stadium. Stoppar prosessen opp ved lystgass er dette svært uheldig i klimasamheng, sidan lystgass er ein sterk drivhusgass. Uansett vil store tap av alle nitrogenformer til luft redusere N-utnyttinga, og det kan føre til lystgasstap på eit seinare tidspunkt (indirekte utslepp). Faren for lystgasstap er stor ved tilførsel av store mengder nitrat i kombinasjon med avgrensa luftinnhald i jord, slik det kan vere når jorda er pakka. Dersom jorda er sur vil andelen lystgass auke, fordi ein del av det som ville ha blitt omdanna til nitrogenogass då blir verande som lystgass.

Forsøk

I utanlandske forsøk er det funne auka utslepp av lystgass på pakka jord. I Norge har vi få forsøk, men målingar i Surnadal og på Tingvoll tyder på at lystgassutsleppa kan auke i storleiksorden 1-10 etter pakking, avhengig av gjødsling og jordforhold.

På NIBIO Fureneset vart det gjennomført feltforsøk vekstsesongen 2012 og 2013 der ein målte lystgassutslepp i graseng med og utan køyring med traktor hjul i hjul etter kvar slått. I toppjorda auka køyring jordtettleiken frå 1,08 til 1,20 Mg/m^3 og reduserte innhaldet av store porer frå 7,6 til 5,9% (middel for tre år med pakking). Lystgassutslepp vart målt på ruter som berre fekk gylle om våren (ca. 11 kg total-N/daa) og på ruter som i tillegg fekk 6 kg N gjennom NPK 22-2-12 etter 1. slått. Sidan pakkinga berre vart utført etter slåttane var det ikkje «fersk pakking» ved vårgjødslinga med gylle.

Figur 1 viser at det var låge N_2O -utslepp i eng gjødsel med berre husdyrgjødsel både i 2012 og 2013. Køyring



Figur 1: Effekt av køyring på samla lystgassutslepp over 37 dagar om våren og 35 dagar om sommaren i 2012, og 29 dagar om våren og 27 dagar om sommaren i 2013. Gjødsling med 4 tonn gylle/daa (11 kg tot-N) om våren.

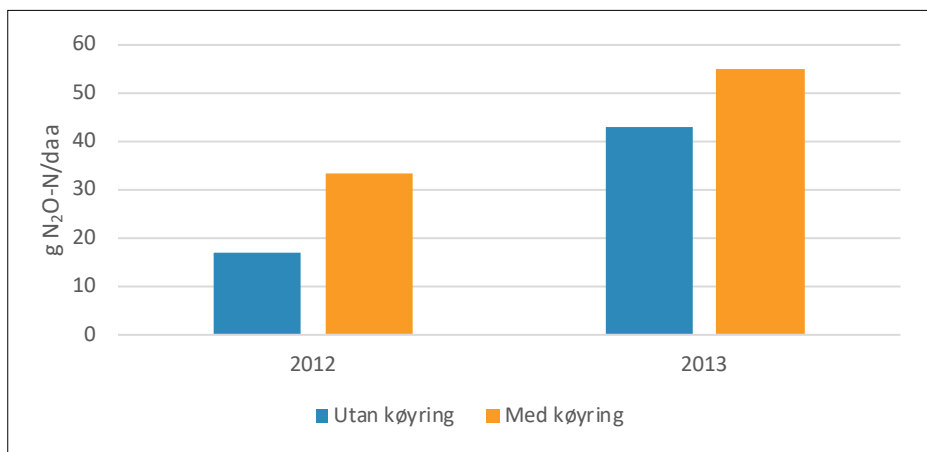


For pakka: Å redusere jordpakking er eit godt klimatiltak. Det reduserer lystgassutslepp, nitrogenavrenning, ammoniakktap, og bidreg til betre infiltrasjon av nedbør. Foto: Sjur Håland, Bondevennen

auka ikkje utsleppet verken om våren som effekt av pakking året før, eller om sommaren som effekt av køyring etter 1. slått. Ved gjødsling med 22-2-12 etter 1. slått har køyring med traktor etter slått auka lystgassutsleppet både i 2012 (frå 17 til 33 g N₂O-N/daa (94%)) og 2013 (43 til 55 g N₂O-N/daa (28%)) (Figur 2). Pakkinga vart utført under tørre forhold

begge år, men i 2013 var det litt våtare jord etter gjødsling enn i 2012, som kan forklare noko av skilnaden i nivå på lystgassutslepp mellom åra.

På Fureneset vart det også målt lystgassutslepp i eng med kløver, der nitrogenfiksering tilførte nitrogen til jord og planter. Her vart det målt høgare lystgassutslepp vinter og vår på pakka areal.



Figur 2: Effekt av køyring på samla lystgassutslepp over 35 dagar om sommaren i 2012 og 27 dagar om sommaren i 2013 etter gjødsling med 6 kg N/daa frå NPK 22-2-12.

Oppsummering og praktisk tilnærming

Tett jord med lågt luftinnhald aukar faren for lystgassutslepp etter gjødsling med nitrathaldig gjødsel, og gjennom vinter og vår i eng med mykje kløver. Å redusere jordpakkinga er eit godt klimatiltak for å redusere dei direkte lystgassutsleppa. I tillegg reduserer ein faren for nitrogenavrenning og ammoniakktap slik at gjødsla blir betre utnytta og dei indirekte utsleppa av lystgass minkar. Aktuelle tiltak er:

- Unngå så langt som råd å køyre på våt jord
- Sørg for god dreneringstilstand
- Vel utstyr (vekt) utifrå kunnskap om eiga jord
- Mekaniseringslinjer som reduserer køyring på jorda
- Slangespreiing av husdyrgjødsel i staden for tunge vogner
- Redusert lufttrykk i kombinasjon med god dekkutrustning

Kan gjødsling med husdyrgjødsel bli meir klimavenleg?

Nøkkelen til klimavenleg gjødsling med husdyrgjødsel er å ta vare på nitrogenet slik at det kan nyttast til plantevekst. Det kan ein oppnå ved redusert ammoniakktap og avrenning og god agronomisk praksis, slik at utsleppet av lystgass blir minst mogleg.

Synnøve Rivedal, Ilevina Sturite (NIBIO),
Sissel Hansen (NORSØK) og Peter Dörsch (NMBU)

Når jordbruket skal redusere sine klimagassutslepp er det viktig å fokusere på kva som kan betrast i eksisterande drift. Korleis husdyrgjødsel blir spreidd betyr mykje for bevaring av nitrogenet og utslepp av lystgass (N_2O). Lystgass utgjør rundt ein tredel av utsleppa tilskriven jordbruket og er dermed viktig for jordbruket sitt klimarekneskap. Nær 75% av lystgassutslepp i Noreg kjem frå jordbruket. Per kg gass har lystgass nær 300 gonger så stort oppvarmingspotensial som det CO_2 har.

Utsleppsrekneskap

Norge rapporterer sine klimagassutslepp etter retningslinjer utforma av FN sitt klimapanel (IPCC). Retningslinjene endrar seg når ny kunnskap kjem til. I dag brukar Norge retningslinjene frå 2006, der det blir rekna eit direkte utslepp av lystgass på 1% av tilført nitrogen (N) både frå mineralgjødsel og husdyrgjødsel. For husdyrgjødsel blir lystgassutsleppet rekna utifrå innhald av total-N. Det er rekna at 1% av ammoniak (NH_3) og NO_x som er fordampa til luft og 0,75% av nitrogenet som er

utvaska/runne av kan gå tapt som lystgass på eit seinare tidspunkt. I nye retningslinjer (IPCC 2019) er standard utsleppsfaktor for direkte lystgassutslepp 1,6% for mineralgjødsel-N og 0,6% for husdyrgjødsel-N og andre organiske gjødselslag i vått klima, medan den er 0,5% for alle gjødselslag i tørt klima. Det er usikkert når nye retningslinjer blir tatt i bruk i Norge.

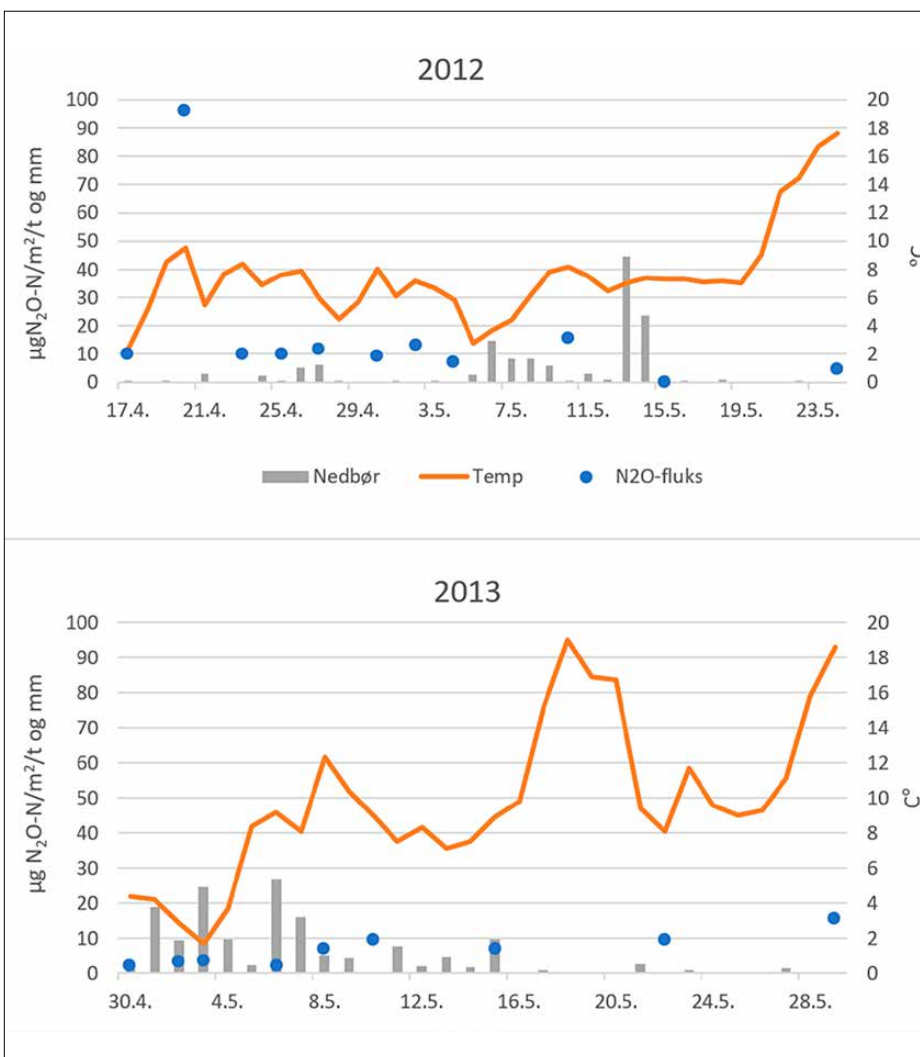
Norske forsøk

Målingar av lystgassutslepp i eng på godt drenert morenejord utan køyring på Tingvoll i Møre og Romsdal viste låge utslepp både etter gjødsling med mineralgjødsel og husdyrgjødsel. I 2009 var det inga auke i lystgassutsleppet som følgje av gjødsling med husdyrgjødsel, medan det i 2010 var eit utslepp tilsvarende 0,15% av tilført husdyrgjødsel-N. I området rundt forsøksfeltet vart det køyrt med vanleg landbruksreiskap og dreneringstilstanden var meir ujamn. Her vart det gjødsel med ei blanding av husdyrgjødsel og mineralgjødsel og utsleppa var monaleg større.

På Fureneset i Sogn og Fjordane vart det målt lystgassutslepp etter vårgjødsling med ca. 4 tonn gylle/daa i eng i vekstsesongen 2012 og 2013. I 2012 auka lystgassutsleppet rett etter gjødsling og gjekk raskt tilbake, men i 2013 fekk ein ikkje auke i utsleppet etter gjødsling (Fig 1). I 2013 var det lågare temperatur og våtare rett etter gjødsling enn i 2012. Samla utslepp i perioden etter gjødsling var 11 g N_2O -N/daa i 2012 (35 dagar) og 6 g N_2O -N/daa i 2013 (29 dagar). I forsøket var det ikkje med ugjødsel ledd og ein hadde ikkje heilårsmålingar. Ein kan derfor ikkje rekne ut ein utsleppsfaktor for tilført nitrogen. Det er likevel interessant å sjå den store skilnaden i utslepp mellom år som truleg skuldast ulike vêrforhold.

Tiltak for å redusere utsleppa

Direkte utslepp: Forsøka på Fureneset indikerer at dei direkte lystgassutsleppa frå husdyrgjødsel blir minst ved låg temperatur ved spreing. I husdyrgjødsel føreligg det lett tilgjengelege nitrogenet



Figur 1: Utsleppshastighet for lystgass (N_2O) etter gylling om våren på Fureneset i åra 2012 og 2013.



Klimavenleg: Direkte lystgassutslepp reduserer ein ved å spreie blautgjødssel når temperaturen er låg, pH i jorda er optimal, jorda er godt drenert og har lite jordpakkingskader. Stripespreiing, slik som på bilete, reduserer dessutan faren for ammoniakktpap og indirekte lystgassutslepp. Foto: Thea Hjertuslot, Bondevennen

i form av ammonium. Plantene kan ta opp ammonium (NH_4), men tek lettare opp nitrat (NO_3). I jorda omdannar bakteriar ammonium til nitrat (nitrifikasjon). I denne prosessen kan det dannast lystgass, men ikkje i så store mengder som når det er mangel på luft i jorda og nitrat blir redusert til lystgass (denitrifikasjon). Når ein gjødsler med ammonium ved låg temperatur går omdanninga til nitrat sakte, plantene tek opp nitraten etter kvart og ein unngår store mengder nitrat i jorda. Faren for denitrifikasjon og lystgassutslepp blir dermed redusert. Andre forhold som aukar faren for lystgassutslepp er låg pH i jord, dårleg drenering og høg pakkingsgrad. Dei bakteriane som reduserer nitrat til lystgass treng energi. Det finn dei i det organiske materialet i blautgjødssel og silosaft. Det er derfor uheldig å tilføre nitrathaldig mineralgjødssel samstundes med blautgjødssel eller silosaft.

Indirekte utslepp: Ammonium i husdyrgjødsel kan lett gå tapt som ammoniakk ved spreining under lite gunstige forhold. Låg temperatur, høg luftfuktigheit, lite vind, iblanding av vatn i gjødsla og bruk

av miljøvennlege spreiemetodar (til dømes stripespreiing) reduserer faren for ammoniakktpap. Det same gjer senking av pH gjennom tilsetjing av syre, som er vanleg praksis i ein del europeiske land,

«Større mengder nitrogen tilført fører til større fare for lystgassutslepp.»

men dette kan gje auka lystgassutslepp. Nitrogenet i ammoniakk kan på eit seinare tidspunkt omdannast til lystgass. Ammoniakktpapa kan bli så store at nitrogen må erstattast med nitrogen frå mineralgjødssel. Større mengder nitrogen tilført fører til større fare for lystgassutslepp.

Nitrogen som går tapt ved avrenning kan på eit seinare tidspunkt føre til lystgassutslepp. Det fører også til at ein må tilføre meir nitrogen frå mineralgjødssel som igjen er kjelde til lystgassutslepp. Dei viktigaste tiltaka for å redusere avrenning frå husdyrgjødsel er å unngå spreining om hausten, på vassmetta jord og når det er meldt store nedbørsmengder.

Oppsummering

Klimavenleg spreining av husdyrgjødsel handlar om å ta vare på nitrogenet slik at mest mogleg kan nyttast av plantene til plantevekst. Det gjer ein ved å redusere ammoniakktpap og avrenning ved spreining av gjødsla. Direkte lystgassutslepp reduserer ein ved å spreie blautgjødssel når temperaturen er låg, pH i jorda er optimal, jorda er godt drenert og har lite jordpakkingskader. I tillegg er det viktig å vente ca. 14 dagar med å spreie NO_3 -haldig gjødssel etter at det er brukt blautgjødssel. Bruk av slangespreiing i staden for tunge vogner reduserer pakkingsgrad. Slangespreiing har også større kapasitet og ein brukar mindre drivstoff. Dette reduserer CO_2 -utsleppet frå gjødsseltransporten.

Hvordan påvirker kløver lystgassutslipp fra eng?

Nitrogen fiksert av kløver i eng gir lave utslipp av lystgass i vekstsesongen. Kløveren er utsatt for nitrogentap, blant annet i form av lystgass, gjennom en lang vinter med frysing og tining.

Levina Sturite, Synnøve Rivedal (NIBIO) og Peter Dörsch (NMBU)

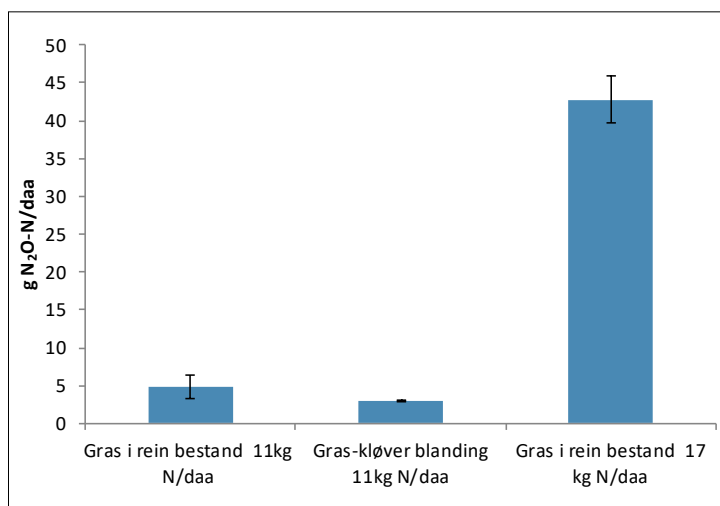
Kløver i blanding med gras er mye brukt både i eng og beite. Kløver har mange gode egenskaper; den har evne til å fikserer nitrogen (N) fra lufta slik at man kan bruke mindre nitrogen gjødsel, den har god fôr kvalitet og kan øke fôr opptaket i blanding med gras. På den negative sida er overvintringa mer usikker, og kløveren blir lett utkonkurrert av grasarter når nitrogen gjødslinga er sterk. Dermed kan det bli lite kløver i enga selv om man bruker kløver i frøblandinga.

Gode egenskaper i vekstsesongen

Under gode forhold og godt kløverinnslag i enga (> 30%) kan kløveren samle opp mot 20 kg N per daa årlig, men det er mer vanlig med 5-10 kg under norske forhold. På NIBIO-stasjonene Fureneset (Sunnfjord), Løken (Valdres) og Tjøtta (Helgeland) ble mengde fiksert nitrogen i kløver målt med differansemetoden. I middel var den høyest i feltet på Tjøtta og lavest i feltet på Løken (Tabell 1). Kløveren holdt seg veldig godt på Fureneset og Løken og ga betydelig N-bidrag fem år etter såing. De målte mengdene i tabellen viser fiksering i høsta avling. De virkelige verdiene er høyere på grunn av fiksert N i stubb, røtter og jord.

Fiksert N kommer naboplanter til nytte, og flere utenlandske studier viser at inkludering av kløver er et godt klimatil-tak. I et feltforsøk i Sveits ble det registrert mindre utslipp av lystgass (N₂O) tilsvarende 0,1 og 0,16 t CO₂ ekvivalenter/daa og år med 21% kløver i første og 44% i andre forsøksår i forhold til gjødslet eng med lite kløver (Fuchs m.fl. 2018). Deres konklusjon

Figur 1: Effekt av NPK-gjødsling og kløver i eng på Fureneset på samlet lystgassutslipp mellom 1. og 2. slått i 2013.



sjon var at bruk av kløver i eng er et godt tiltak for å redusere klimagassutslipp. Tilsvarende resultater ble registrert på NIBIO Fureneset da man etter 1. slått i 2013 (3. engår) målte lystgassutslipp på blandingruter med kløver (> 30%) og gjødsla grasruter. Målinger ble gjennomført rett etter gjødsling med 6 kg N gjennom NPK 22-2-12 på ruter med gras og på ugjødsla ruter med kløverblanding etter 1. slått i 28 dager. Resultatene viste at lystgassutslipp fra N-fikserende kløverplanter var ubetydelig; i gjennomsnitt 3 g N₂O-N/daa totalt for måleperioden.

Bruk av mineralgjødsel økte lystgassutslippet betraktelig; i gjennomsnitt ble det målt 43 g N₂O-N/daa eller 14 ganger mer enn fra rutene med kløver (Fig. 1). Enkle beregninger tyder på at 0,2 - 0,3% av fiksert N tapes i form av N₂O-N i løpet av vekstsesongen. Dette er ubetydelig tap

i forhold til den innsatsen kløverplantene gjør i symbiosen med *Rhizobium*-bakterien for å sørge for N til enga. I middel gav blandingseng med kløver også noe større avlingseffekt enn gjødsling med 6 kg N til gras.

Uheldig med mye kløver om vinteren

En lang norsk vinter med vekslende værforhold er en utfordring for overvintrende engvekster. Særlig for kløver, som er en N-rik plante, kan vinterskader på plantevevet resultere i N-tap. For å undersøke hvor mye N som tapes i form av lystgass gjennom vinteren i kløverrik eng, ble det gjort målinger i etablert eng (0-30-100% kløver i frøblanding) på Fureneset og Tjøtta i to vintre (fra oktober til april/mai). Det ble også undersøkt hvilken virkning høsting av plantemasse sent om høsten kan ha på N-tapet.

Kløverblad er lett nedbrytbare og øker mikrobiell aktivitet som bruker opp oksygenet i jordluft. Dette kan føre til anaerobe forhold slik at N tapes som gass gjennom denitrifikasjon. Både på Vestlandet og i Nord Norge er vintrene ustabile, og i løpet av forsøksperioden var det flere episoder med frysing og tining av jorda. N₂O-utslippet var høyest under tining av jordas øverste lag og ble mye lavere når jord- og lufttemperatur stabiliserte seg.

Tabell 1: N-fiksering målt med differansemetoden.

Middel over ulike traktorkjøring, gjødsling og såmengde av kløver.

	Fiksert N, kg/daa					
	1. engår	2. engår	3. engår	4. engår	5. engår	Middel
Fureneset	5,8	7,1	5,0	7,2	6,0	6,2
Tjøtta	8,0	9,5	5,3	-	-	7,6
Løken	2,5	4,0	6,2	7,3	5,0	5,0



Var for frost: Vinterstudier i kløvereng viser at risikoen for lystgassdannelse øker når en frostsensitiv fangvekst som kløver overvintrer under skiftende værforhold. Foto: Ilevina Sturite.

Det var registrert fire til seks fryse-tine-episoder i løpet av den første vinteren og ni-fjorten i løpet av den andre. I gjennomsnitt for to år, ble totale N_2O -N utslipp fra eng med kløver (30 og 100% kløver) betydelig høyere enn fra rein graseng, både på Fureneset og Tjøtta (Fig. 2). De høyeste utslippene ble målt andre vinteren fra ruter med rein kløver. Fjerning av bladmasse sent om høsten reduserte ikke N_2O -utslipp i forhold til urørt engbestand. Tvert imot, i noen tilfeller var det høyere utslipp fra høsta ruter enn fra urørte ruter. Dette tyder på at det foregår aktivitet i rotsonen utenfor vekstsesongen. Vi vet lite om hva som skjer med *Rhizobium* knollene i løpet av vinteren, og hvordan de påvirker danning av lystgass. Men det

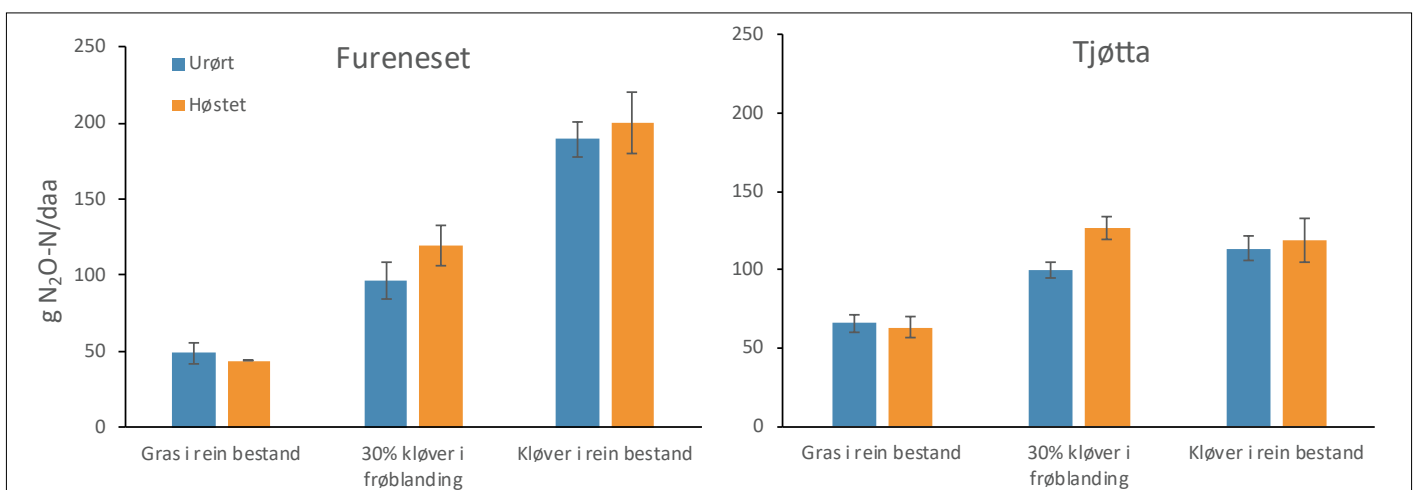
er klart at mye lett tilgjengelig karbon og nitrogen i jorda utenfor vekstsesongen fører til lystgassutslipp.

«Kløveren blir lett utkonkurrert av grasarter når nitrogen-gjødslinga er sterk.»

Kløver i vekstskifte

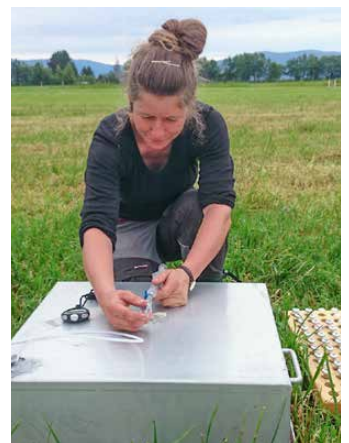
I økologisk korndyrking brukes det også belgvekster til grønn gjødsling eller som

fangvekst. Det er viktig at fangvekster har evne til å holde på oppsamlet N fra en vekstsesong til den neste. Tidligere studier av Sturite m.fl. (2007) viste at overjordisk plantemasse kan bli utsatt for N tap gjennom vinteren. Tapene fra biomasse varierte betydelig fra år til år (fra 4 til 71% for italiensk raigras og fra 14 til 76% for kvitkløver) avhengig av vinterklima. Vi har ikke målinger av lystgassutslipp fra fangvekster i Norge, men vinterstudien i kløvereng på Fureneset og Tjøtta tilsier at risikoen for lystgassdannelse øker når frostsensitive fangvekster overvintrer under skiftende værforhold.



Figur 2: Effekt av kløverinnhold i frøblanding og slått om høsten på samlet vinterutslipp av lystgass på Tjøtta og Fureneset. Middeler for to vintre. Standartfeil vist.

Takk til alle som har bidrege!



Aktuell litteratur

Breland, T.A. 1992: Organisk materiale og biologiske prosessar i jorda. SFLL Faginfo nr. 19, 1992.

Deelstra, J., Hauge, A. 2020. Klimaendringer, grøfteavrenning og grunnvann, resultater fra målinger i Øvre Time, Jæren. NIBIO Rapport 6 (73): 17 s.

Deelstra, J. 2020. Klimasmart drenering. Resultater fra småfelt Vandsemb, Bye og Øvre Time. NIBIO Rapport 6 (85): 25 s.

Deelstra, J. 2020. Betydning av endret klima for drenering – klimasmart drenering. NIBIO Rapport 6 (102): 36 s.

Drenering -Teori og praksis 2013.
<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2445537>

Fuchs, K., Hörtnagl, L., Buchmann, N., Eugster, W., Snow, V., Merbold, L. 2018. Management matters: testing a mitigation strategy for nitrous oxide emissions using legumes on intensively managed grassland. *Biogeosciences* 15 (18): 5519–5543.

Hansen, S., Mæhlum, J.E., Bakken, L.R. 1993. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biol. Biochem.* 25 (5): 621-630.

Hansen, S., Bernard, M. E., Rochette, P., Whalen, J. K., Dörsch, P. 2014. Nitrous oxide emissions from a fertile grassland in Western Norway following the application of inorganic and organic fertilizers. *Nutrient cycling in agroecosystems* 98 (1): 71-85.

Haukås, T., Berger, M. 2018. DRAINIMP -Økonomi i drenering. NIBIO Rapport 4 (152): 43 s.

Hovlandsdal, L. 2011. Langtidseffekten av kalking på lystgassemissjonen frå dyrka organisk jord. Masteroppgåve NMBU, Ås.

Liu, B. B., Mørkved, P. T., Frostegard, A. & Bakken, L. R. (2010). Denitrification gene pools, transcription and kinetics of NO, N₂O and N₂ production as affected by soil pH. *FEMS Microbiology Ecology* 72 (3): 407-417.



Lunnan, T., Rivedal, S., Sturite, I. 2017. Effektar av traktorkøyning, gjødsling og frøblanding på avling, botanisk samansetjing, førkvalitet, nitrogenopptak og nitrogenfiksering i eng. NIBIO Rapport 3 (81): 27 s.

Låg, J. 1976: Jordarter, jordsmonn og landskap i farger. Landbruksforlaget 1976. ISBN:9788252901467. 99 s.

Lågbu, R., Nyborg, Å. A., Svendgård-Stokke, S. 2018. Jordsmonnstatistikk Norge. NIBIO Rapport 4 (13): 75 s.

Mørkved, P. T., Dörsch, P., Bakken, L. R. 2007. The N₂O product ratio of nitrification and its dependence on long-term changes in soil pH. *Soil Biology & Biochemistry* 39 (8): 2048-2057.

Nadeem, S., Børresen, T., Dörsch, P. 2014. Effect of fertilization rate and ploughing time on nitrous oxide emissions in a long-term cereal trail in south east Norway. *Biology and fertility of soils* 51(3): 353-365.

Prestvik, O. 1985: Innføring i jordlære. Landbruksforlaget 1985. ISBN: 139788252910285. 40 s.

Rasse, D., Økland, I, Barcena, T., Riley, H., Martinsen, V., Sturite, I., Joner, E., O' Toole, A., Øpstad, S., Cottis, T., Budai, A. 2019: Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO Rapport 5 (36): 93 s.

Rivedal, S., Riley, H., Lunnan, T., Børresen, T. Øpstad, S., Sturite, I. 2016. Verknad av traktorkøyning på engavling og jordfysiske forhold. NIBIO Rapport 2 (145): 78 s.

Russenes, A. L., Korsæth, A., Bakken, L. R., Dörsch, P. 2016. Spatial variation in

soil pH controls off-season N₂O emission in an agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry* 99: 36-46.

Russenes, A.L., Korsæth, A., Bakken, L.R., Dörsch, P. 2019. Effects of nitrogen split application on seasonal N₂O emissions in southeast Norway. *Nutr Cycl Agroecosyst* 115: 41–56.

Sitaula, B.K, Hansen, S., Sitaula, J.I.B., Bakken, L.R. 2000. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil. *Chemosphere-Global Change Science* 2: 367-371.

Sognnes, L. S., Fystro, G., Øpstad, S. L., Arstein, A. & Børresen, T. 2006. Effects of adding moraine soil or shell sand into peat soil on physical properties and grass yield in western Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 56 (3): 161-170.

Sturite, I., Henriksen, T. M., Breland, T. A. J. 2007. Winter losses of nitrogen and phosphorus from Italian ryegrass, meadow fescue and white clover in a northern temperate climate. *Agriculture, Ecosystems, Environment* 120 (2-4): 280-290.

Sturite, I., Rivedal, S., Dörsch, P. 2014. Effects of fertilization and soil compaction on nitrous oxide (N₂O) emissions in grassland. In: Hopkins, A. et al. (eds). EGF at 50: The Future of European Grasslands. 19: 94-96. Proceedings of the 25th Symposium, EGF, Aberystwyth, Wales, 7.-11. September 2014.

Tesfai, M., Hauge, A., & Hansen, S. 2015. N₂O emissions from a cultivated mineral soil under different soil drainage conditions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65 (sup1): 128-138.

