

Karbon og biologisk aktivitet i jord med eng- og potetdyrking (K-BEP)

NORSØK RAPPORT | VOL. 9 | NR. 2 | 2024



TITTEL

Karbon og biologisk aktivitet i jord med eng- og potetdyrking (K-BEP)

FORFATTERE(E)

Reidun Pommeresche og Tatiana F. Rittl

DATO:

21.02.2024

RAPPORT NR.

9/2/2024

PROSJEKT NR.:

Prosjektnr NORSØK 3205 K-BEP

ISBN:

978-82-8202-178-4

ISSN:**ANTALL SIDER:**

50

ANTALL VEDLEGG:

2

OPPDRAGSGIVER:

Landbruksdirektoratet

KONTAKTPERSON NORSØK:

Reidun.Pommeresche@norsok.no

STIKKORD:

Eng, potet, jordliv, biologisk aktivitet, jordhelse, K-BEP, karbonlagring, OM, kbep

Meadow, ley, potato, soil life, biological activity, soil health, carbon storage, organic material

FAGOMRÅDE:

Jordhelse, jordkarbon, jordbiologi

Soil health, soil carbon, soil biology

SAMMENDRAG:

Eng- og potetdyrking påvirker biologisk aktivitet og karbon i jord som viktige deler av jordhelse. I prosjektet «Karbon og biologisk aktivitet i jord med eng- og potetdyrking (K-BEP)» undersøkte vi flere ting. Mellom annet hvordan engdyrking i 30 år og en nylig «karbonboosting» med ulike typer organisk materiale (OM) i potetdyrking, påvirket jordbiologi, mengde og typer karbonfraksjoner og jordhelse. Åtte ulike praksisnære tester ble brukt for å vurdere hvor sensitive og egnet de var til å gi informasjon om jordhelse og som jordhelse-indikatorer. Disse ble testet i jord under eng, beite og potet, i behandlinger der vi forventet variasjon i jordhelse. Det var en gradient i «jordarbeiding» og ulik tilførsel av organisk materiale. Undersøkelsene ble gjennomført i 2021 og testene dekket ulike aspekter av jordhelse, inkludert innhold av OM, karbonfraksjoner, jordbiologi og biologisk aktivitet. To dataverktøy og egne målinger over 30 år ble brukt til å estimere karbonmengder i jord og endringer i jordkarbon over tid.

De fleste jordhelsetestene viste forskjeller mellom engsystemet og potetsystemet, og da med høyere verdier i engsystemet. Det var imidlertid få forskjeller innad mellom behandlinger og arealer innad i systemene. Beite viste tendens til bedre jordhelse enn eng av ulik alder, mens det i potetfeltet ikke ble funnet noen forskjeller knyttet til ettereffekt av ulike typer tilført OM. Det anbefales derfor å bruke flere tester samlet. Ved å samle data i et jordhelsediagram basert på normalverdier av hver test, kan man visualisere resultatene fra hvert skifte i forhold til hverandre. Da får man en indikasjon på om endringene går til det bedre eller ikke mht. jordhelse, før og etter et eventuelt tiltak i drifta, eller mellom ulike behandlinger eller mellom skifter med samme behandling. Det anbefales i tillegg å grave i jorda og vurdere forholdene visuelt og sensorisk, og se testresultatene i sammenheng med jordanalyser. Det trengs flere norske data fra ulike jordhelse-

tester for å tolke resultatene bedre, for å opparbeide norske referansenivåer og som grunnlag for å anbefale et utvalg tester egnet til gardsbasert vurdering av jordhelse under norske forhold.

I snitt var det 4-8 % høyere innhold av OM (GT%) der det to år tidligere ble tilført fast biorest (BR), hestegjødsel (HG) og biokull med flytende del av biorest (BK+). Det var også noen små forskjeller mellom behandlingene om karbonet ble funnet i som POM (partikulært OM) eller MAOM (bundet til jordmineraler) i jorda. BK+ ble estimert som mer stabilt over tid i jord basert på laboratorieforsøk, enn de andre typene OM.

Ved å bruke skiftevis målte verdier for glødetap (OM) fra jordanalyser, ble karbonbeholdningen i et 20 cm tykt jordlag estimert. De fleste bønder forvalter mye karbon i matjordlaget. Innholdet var lavest i potetfeltet, med estimater på 2,9 tonn-3,3 tonn C/daa, middels i engene, med 4,7-9,9 tonn C/daa og høyest i permanente beiter med 11,9-14,4 tonn C/daa. Det var i tillegg betydelige mengder karbon i jordprøvene tatt fra 20-40 cm dyp, bare målt i engarealene.

Vi sammenliknet målte og simulerte jorddata for å si noe om endringer i jordkarbon på en melkeproduksjonsgard over tid. Jorddata fra ulike skifter på garden viser generelt et høyt innhold av OM i jorda, i snitt 7 % i 2021. Videre viste resultatene at beholdningen av OM og karbon i matjordlaget (0-20 cm) avtok over en 30 årsperiode på de fleste skiftene. Simuleringer gjort i C-Tools modellen for karbonendring i mineraljord over en 100 års periode, stemte bra overens med de målte verdiene for skifter der utgangsmengden OM i jorda var 12 % (GT%) og lavere. For skifter med over 12 % OM ved prøvetakingsstart, var det ikke så bra samsvar. De målte verdiene viser da en raskere nedgang i innholdet av OM og karbon enn de simulerte endringene i C-Tools. Dette indikerer at utgangsnivået er viktig for skjebnen til OM og karbon i jordbruksjord. Videre at tross i kjente fordeler av flerårig gras og tilførsel av husdyrgjødsel, virker det krevende over tid å opprettholde eller øke innholdet av jordkarbon i norsk jordbruksjord.

SUMMARY:

The project "Soil organic carbon and biological activity in meadow and potato soil (K-BEP)" aimed to achieve three main objectives: (i) evaluate various soil health tests; (ii) estimate long-term changes in soil organic carbon in an organically managed grassland and compare them with simulations in the C-TOOL model; (iii) quantify the residual effects of organic amendments on soil organic carbon storage over a two-year period. To accomplish this, we selected representative areas spanning different agricultural environments, from grassland to potato production field. Within each production system, grassland and potato, we identified areas where variations in soil health were expected. In the grassland, we examined a gradient from cultivated to permanent pasture, while in the potato field, we studied plots treated with different organic materials (biochar, digestate, farmyard manure) two years prior to soil assessment. Soil health analyses were conducted in early summer 2021 for the grassland and in summer 2021 after the early potato harvest for the potato field. These tests covered various aspects of soil health, including soil organic matter content, labile soil carbon fractions, soil biology, and soil biological activity.

Overall, the tests differentiated between grassland/pasture system and potato fields, with the former exhibiting better soil health values. However, they did not significantly differentiate between specific areas or treatments within the two production systems. In the grassland system, permanent pasture generally showed better soil health trends than cultivated areas, while in the potato field, selected soil health tests did not show any differences of residual effects of organic amendments.

We quantified the two-year residual effects of different organic amendments on soil organic carbon storage in a sandy soil within a conventional potato production system, finding a 4-9% increase in soil organic carbon compared to untreated soil.

To assess long-term changes in soil organic carbon in the organically managed grassland, we analysed soil organic matter changes over a 30-year period and compared the results with simulations in the C-TOOL model. Our findings indicate a decline in soil organic matter concentration over this period, particularly in cultivated areas, with higher losses observed in areas with initially high soil organic matter content. However, declines in soil organic matter were less evident in permanent pastures. The C-TOOL model generally aligned well with measured soil organic matter levels, except for areas with initially very high organic matter content, where the model underestimated losses.

In conclusion, our results highlight the value of using multiple simple tests in combination to assess soil health within different production systems. However, we recommend complementing these tests with visual evaluations of topsoil and chemical nutrient analyses. Despite the known benefits of grass-clover ley and animal manure in promoting soil organic matter formation, maintaining or increasing soil organic carbon content in agricultural systems remains challenging.

LAND:	Norge
FYLKE:	Møre og Romsdal
KOMMUNE:	Tingvoll

GODKJENT	PROSEKTLER
Cecilie Løkken	Reidun Pommeresche
NAVN	NAVN

Forord

Rapporten oppsummerer det som ble undersøkt og hovedresultater fra prosjektet K-BEP (Karbon og biologisk aktivitet i jord med eng- og potetdyrking), 2021-2024. Prosjektets formål var å undersøke jordhelse i eng og potet, samt å si noe om endringen av jordkarbon basert på målte og simulerte data. Prosjektet var i nært samarbeid med MerMold prosjektet og NORSØK sine langtidsdata knyttet til Tingvoll gard. Prosjektet er finansiert av Landbruksdirektoratet (prosjektnr. 2020/67808, Agros 138237).

Rapporten er laget slik at man kan lese om hvert hovedtema samlet eller mer hver for seg. Dette ved at hvert kapittel innledes med noe bakgrunn og at metodene er gjengitt i hvert kapittel og ikke samlet på ett sted. Det er tre hovedtema: «Jordhelse i eng og potet» (Kap2), «Hva er igjen i jorda to år etter karbonboosting?» (Kap3) og «Effekter av 30 år med eng på jordkarbon» (Kap4).

Både prosjektet og resultater er formidlet i flere foredrag, fagartikler og ulike presentasjoner underveis i prosjektet. Det har vært utveksling av erfaringer og diskusjoner både med rådgivere, gårdbrukere, studenter og andre forskere, selv om det var i hovedsak var Reidun Pommeresche og Tatiana F. Rittl fra NORSØK som gjennomførte testene og analyserte resultatene. Vi vil takke SEGES ved Henrik Vestergaard, for god støtte til bruk av C-TOOL modellen for å simulere karbonendringer i jord over en 100 årsperiode. Stor takk til Frode Grønmyr i Norsk landbruksrådgiving (NLR) og gjengen i Sunndalspotet som har bidratt til at potetfeltet kunne brukes til jordhelsetester og karbonestimater. Takk også til gardbrukerne på Tingvoll gard, til teknikere og andre ansatte i NORSØK som har bidratt inn i prosjektet. Takk til referansegruppa for innspill underveis.

Tingvoll, 21.02.24

Reidun Pommeresche

Forsidebilder

Forsidebildene viser Tatiana F. Rittl på feltarbeid i eng, bilder av midd, spretthaler, mikroskopbilde, bilde av solling av jord til jordhelsetest og bilde fra potetfeltet der jordrespirasjon måles i plastflasker uten bunn som er satt ned i jorda. Foto Reidun Pommeresche og Tatiana F. Rittl.

Innhold

1	Innledning.....	3
2	Jordhelse i eng og potetjord	5
2.1	Utprøving av ulike jordhelsetester.....	5
2.2	Materiale og metode	5
2.2.1	Gardsdata og forsøksfelt.....	5
2.2.2	Jordhelsetester og jordanalyser	6
2.3	Resultater fra jord med eng og fra jord med potet	15
2.4	Noen vurderinger av testene	22
2.5	Flere testresultater samlet i en type figur	24
3	Hva er igjen i jorda to år etter karbonboosting?.....	27
3.1	Materiale og metode	27
3.2	Karbonbeholdningen i sandjord to år etter karbonboosting.....	29
3.3	Karbonets stabilitet i jord.....	30
4	Effekter av 30 år med eng på jordkarbon	32
4.1	Materiale og metode	32
4.2	Målte endringer i karboninnholdet fra 1990-2021.....	33
4.3	Simulerte karbonendringer over tid	35
5	Oppsummering resultater	39
6	Konklusjon.....	40
7	Referanser	41
	Vedlegg.....	43

1 Innledning

Naturgitte forhold, sammen med drifta og hva som produseres, påvirker karbondynamikken og hva som lever i jorda på en gard. Noe norsk dyrkajord har lite organisk materiale (OM), under 3 %, og dermed lavt innhold av karbon (C), under 1,5 %, og noe har opp mot 20 % OM og dertil mer jordkarbon (Lågbu mfl. 2018). Studier indikerer at i mineraljord med lavt innhold kan ulike tiltak gjøres for å øke innholdet av karbon, mens i jord med høyt innhold, bør fokuset være på tiltak som hindrer nedgang (Serikstad mfl. 2018; Rasse mfl. 2019; FAO, 2019). Jord med lavt karboninnhold, vil i tillegg til karbonbinding kunne ha produksjonsmessige fordeler av økt innhold av karbon. Mens jord med over 6-8 % OM mest sannsynlig oppnår færre agronomiske fordeler, eksempelvis ikke nødvendigvis økt aggregatstabilitet ved høyere karboninnhold (Riley 2003). Vi mangler tall for hvor mye jordkarbon norske gardbrukere forvalter på sine gardar, og hvor «grensene» mellom lavt, middels og høyt innhold av jordkarbon ligger under norske klima- og produksjonsforhold.

Landbruket har forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene mye frem mot 2030. Lagring av karbon i jord og bedre bruk av gjødsel er nevnt som viktige klimatiltak i Landbrukets klimaplan 2021-2030 (NN 2020). Rådgivning om klimavennlig produksjon skal støtte bøndene i å nå klimamålene. Til det er det viktig med kunnskap og data om karbondynamikk og jordbiologi i norsk jordbruksjord.

Karboninnholdet i jord er en balanse mellom det som tilføres og lagres og det som fjernes i avlinger og går tapt gjennom respirasjon fra planter, dyr og mikroorganismer i jorda eller utvasking. Et krevende dilemma knyttet til OM i jord er om karbon i OM *lagres* eller *brukes*. Når OM akkumuleres i dyrkbar jord, antas det ofte å forbedre jordegenskapene, samtidig som C lagres. Det er imidlertid en uunngåelig vekslings (dilemma) mellom å lagre karbon og å bruke OM til å drifte ulike jordfunksjoner. Det er ønskelig med langvarig lagring av C i OM for å redusere karbondioksid (CO₂) nivået i atmosfæren og mineraljordas agronomiske egenskaper blir bedre av tilstedeværelsen av en viss mengde OM. Det er imidlertid også viktig og gunstig at OM er tilgjengelig som energi og næring for organismene i jorda, som gjennom sitt virke omdanner dette til plantenæring og bidrar til biologisk jordstruktur. De beste strategiene for håndtering av jordkarbon er nært knyttet til en god forvaltning av OM, mellom lagring og bruk av karbon (Janzen, 2006). Lagring av karbon blir en økosystemtjeneste som ikke er lik i alle typer jord.

Bønder har OM på sin gard i avlinger, røtter og planter, i jord, skog, i dyr og husdyrgjødsel. OM fra planter eller som tilføres jorda, er energikilde til jordlivet, som ved å bearbeide dette frigrir plantenæring, bidrar til næringssirkulering og bidrar til at jordpartiklene henger sammen i aggregater og ikke så lett havner i vann og vassdrag. Dette er vitale prosesser for god jordhelse. Karbondynamikken i jordbruksjord er kompleks og ulike teorier råder. Brorparten av karbonet som blir tilført matjordlaget omsettes og brukes innen samme vekstsesong og noe blir værende der lenger. Generelt blir rundt 1/3 av karbonet fra tilførte planterester igjen i jorda etter ett år, mens resten går tilbake til atmosfæren som CO₂ (Brady & Weil 2008). Noen studier indikerer imidlertid at karbonholdige stoffer som stammer fra planter og biologiske prosesser i jorda kan finnes i jorda i 10-50 år eller lengre (Schmidt mfl. 2011). Leirinnhold og jorddyp fremheves som særlig medvirkende til at OM og karbon blir mindre mikrobielt tilgjengelig og mer stabilt i jord (Schmidt mfl. 2011, Cotrufo og Lavalée 2022). Ulike karbonfraksjoner og hvor stabile/holdbare de er i norsk jord trenger vi mer kunnskap om.

Siden åttitallet er det på norske gardar jevnlig tatt jordprøver som er analysert for plantenæringsstoffer, for å lage tilpassede gjødslingsplaner. Jordprøvene, som er siktet gjennom 2 mm sikt, blir også analysert for innhold av OM i form av glødetap (% GT). Disse dataene er nyttige til bruk i ulike karbonberegninger og modeller. Omtrent 50 % av det organiske materialet vi finner i slik finsiktet jord er karbon (Pribyl 2010, Pommeresche mfl. 2019a, 2019b).

Jordhelse er et omfattende begrep med mål om at jordas økosystem skal fungere optimalt og bidra til planteproduktivitet og økosystemtjenester (FAO- ITPS 2020). I rapporten «Nasjonalt program for jordhelse» (Rygh mfl. 2020) fremheves viktigheten av å fokusere på jordstruktur, jordkarbon og jordbiologi som del av jordas helse. Jordbiologien påvirker jordhelsen, næringssirkulering og i hvilke molekyler karbonatomene foreligger i økosystemet. Meitemarkekskrementer (kast) inneholder eksempelvis mer karbon enn jord ellers (Pommeresche og Løes 2009). Både mikro- og makrolivet i jorda omdanner OM og påvirker karbondynamikken i jorda, men ikke alltid i favør karbonlagring (Cotrufo og Lavalley 2022). Planterøtter og meitemark bidrar til aggregatdanning og kan flytte karbon nedover i jorda slik at det blir værende lenger i jorda.

Det finnes ulike tilnærminger for å måle og vurdere jordhelse. Både med visuelle vurderinger og ulike type tester og målinger (Moebius-Clune mfl. 2017, Pommeresche 2020, EEA 2022). Å måle produksjonen av CO₂ (respirasjon) fra jord, kan si noe om det er liten eller stor mikrobiell aktivitet i jorda. Høy mikrobiell aktivitet henger ofte sammen med mer omdanning av OM og økt frigjøring av plantenæringsstoffer. Noen tester måler også mengde og type mikroorganismer i tillegg til respirasjonen. Andre måler mengde OM og ulike fraksjoner av karbon i det. Ved å telle antall spretthaler og midd, får man et mål på mengden mellomstore organismer (mesofauna) i jorda (Pommeresche og Løes 2014). Ved å sette ned matpinner i jorda, kan vi også få innblikk i nedbrytningshastigheten av tilført OM, samt biologisk aktivitet (Kratz 1998).

I prosjektet «Karbon og biologisk aktivitet i jord med eng- og potetdyrking (**K-BEP**)» undersøkte vi hvordan engdyrking i 30 år og en nylig «karbonboosting» med ulike typer OM i potetdyrking, påvirket innholdet, mengde og type jordkarbon, jordbiologi og jordhelse. 8 ulike tester/indikatorer, i form av laboratorieanalyser og mer praksisnære tester ble brukt i eng- og potetjord, for å vurdere hvor sensitive og egnet de var til å gi informasjon om jordkarbon og jordbiologi. To dataverktøy knyttet til å estimere karbonmengder i jord og karbonendring over tid ble også testet.

Hovedmål:

Undersøke hvordan eng- og potetdyrking påvirker karboninnhold og biologisk aktivitet i jord.

Delmål:

- a) Teste ulike indikatorer for jordhelse som registrerer karbonfraksjoner, jordbiologi og aggregatstabilitet. **Kap. 2**
- b) Er det mer karbon og høyere biologisk aktivitet i potetjord to år etter tilførsel av mye hestegjødsel, bioest eller biokull? Er en slik «karbonboosting» et godt tiltak for å binde karbon i jorda? **Kap. 3**
- c) Hvordan påvirker 30 år med økologisk engdyrking karboninnholdet i jorda? **Kap. 4**
- d) Hvor mye jordkarbon forvalter bonden? Hvordan beregne karbonbanken (karbonbeholdningen) i jord basert på glødetapstall? **Kap. 3 og 4**
- e) Prøve ut eget Excel-verktøy og et dansk verktøy for å beregne karbonendringer i jord. **Kap. 3 og 4**

2 Jordhelse i eng og potetjord

2.1 Utprøving av ulike jordhelsetester

Et utvalg tester ble brukt på jord for å teste dem under norske forhold og for å få et mål på jordhelse i to ulike produksjoner og på ulike skifter. Testene Aktivt karbon, Matpinner, Mikrobiometer, Mikroliv, Solvita- basal jordrespirasjon, Pasco CO₂- jordrespirasjon, telling av spretthaler/midd og Slakes app for aggregatstabilitet ble brukt. Jord ble også analysert for glødtap, volumvekt og kjemisk næringsinnhold, samt at jordart ble bestemt.

Testene ble bruk på jord under eng, beite og potet, i behandlinger der vi forventet variasjon i jordhelse. Vi testet jord fra eng/beiter på en gard og fra jord i tidligpotetproduksjon. Vi tenkte oss en gradient av jordbrukshabitater knyttet til mengde og tid siden sist forstyrrelse/jordarbeiding av jorda, som viktig for jordhelse, i tillegg til ulik tilførsel av OM. Ved å bruke testene på jord i felt, har vi fått mange data og resultater av jordbiologi, karbonfraksjoner, jordkjemi og jordstruktur. Disse fire områdene er viktige for jordhelse.

2.2 Materiale og metode

2.2.1 Gardsdata og forsøksfelt

De utvalgte jordhelsetestene ble brukt på jord i felt i to prosjekter. Det ene var et feltforsøk med tidligpotet og det andre et prosjekt som registrere avlings- og jorddata over tid fra en økologisk melkeproduksjonsgard. Faktorer som «tid siden sist jordarbeiding» og «ulik tilførsel av OM» var satt som de viktige gradientene som påvirker jordkarbon, jordbiologi og jordhelse. Gradienten var fra mest jordarbeiding i potetfeltet til minst på permanent beite.

I prosjektet MerMold (2019-2022) jobbet NORSØK og Norsk landbruksrådgiving sammen med konvensjonelle potetbønder for å se om ulike typer tilført OM og bruk av fangvekst kunne bedre potetavlinger, sjukdomsbildet (jordhelse) og øke innholdet av aktivt karbon i moldfattig sandjord, i Sunndal kommune på Indre Nordmøre.

Jordhelsetester ble tatt i 2021, i feltforsøk med tidligpotet, men bare fra feltforsøkruter (3,3 m x 10 m) **uten fangvekst**. Prøver ble tatt i behandlinger som ble «karbonboostet» etter potethøstingen i 2019 (Bilde 1). Dette ved å bli tilført biokull (fra bartrær produsert av StandardBio ved 400°C) dynket i flytende del av råtnest (fra Ecopro), kalt **Biokull (BK+)**, ruter som fikk **fast råtnest/biorest (BR)** etter biogassproduksjon av ulike typer organisk avfall (Ecopro 2 tørrgjødsel) og ruter som fikk tilført **hestegjødsel (HG)** med noe strø (tremateriale) fra stall nær forsøksfeltet. Det ble også tatt prøver fra **kontrollruter (KO)** som ikke fikk noen organisk gjødsel. Hele feltet fikk hvert år en grunn gjødsling av NPK, for å være mest mulig representativt for konvensjonell tidligpotetproduksjon. Det var **3 gjentak av hver OM behandling**, og prøver til jordhelse ble tatt i hver av dem. Feltet ble kunstig vannet frem til potethøstingen var over, ca 6 juli. **Dette feltet kalles potetfeltet videre i rapporten.**

Det andre prosjektet er knyttet til jord på **ulike skifter med eng og beite på en økologisk melkeproduksjonsgard**, Tingvoll gard på Nordmøre, der det siden 1990 er tatt jordanalyser fra kartfestede punkter 6 ganger, sist i 2021. Det er også gjort avlingsregistreringer på ulike skifter på denne garden. Informasjon om drifta og flere data om jord, avlinger og næringsinnhold fra 1991-2013 finnes hos Ebbesvik mfl. (2014) og fra 1991-2021 hos Båtnes mfl. (2023).

Garden har hatt mye eng i vektskiftet siden 1987. **I 2021 ble det tatt jordhelsetester på en gradient fra to skifter med 2.års eng (Eng1 (Leiråkeren) og Eng2 (Øvrebakken)), en 4.års kløvereng (Eng3/Hamburgskiftet) og et overflatedyrka beite (Beite/Saltkjelen Øvre)** (Bilde 1). Engene gjødsels årlig med blautgjødsel fra storfe, 2-2,5 t/daa vår og 2 t/daa etter førsteslåtten. Det er vanligvis

beiting etter førsteslått på Eng2, derfor gjødsles den vanligvis bare før førsteslått og ikke etter. Beite beites årlig av ungdyr og det tilføres ikke noe ekstra gjødsel. I 2021 var det 8-10 ungdyr (kviger) som beitet arealet da prøvene ble tatt. På hvert av disse fire skiftene, ble det tatt ut jord og gjort jordhelsetester på **3 steder på samme skiftet** med minst 50 m avstand mellom. Disse tre prøvene ble brukt som tre gjentak i beregningene.



Bilde 1. Utsnitt av beite og dyrka arealer ved Tingvoll gard, med alle skiftenes navn (t.v.). Kyr som beiter i eng som er slått til silo (skifte 8) (Foto Vegard Botterli). Bildet ned til høyre er av forsøksfeltet med tidligpotet i Sunndal, like etter at ulike typer OM var tilført i 2019, samt utsnitt fra en høsting av poteter (Foto Tatiana Rittl).

2.2.2 Jordhelsetester og jordanalyser

Vi brukte samme innsamlingsmetode av data i potetfeltet og på skiftene på Tingvoll gard. Vi la ned en treramme på 1 m x 1 m inndelt i 16 trådruter (Bilde 2) på bakken i hvert gjentak (skifte/rute). I de midtre fire trådrutene av rammen ble det satt ned en matpinne. Innen trerammen ble det tatt ut en jordprøve for å telle spretthaler og midd, jord til Slakes aggregat-test og målt respirasjon i felt med Pasco CO₂ sensor. Det ble også tatt ut en jordprøve i 0-10 cm dybde ved siden av hver 1 m² ramme som ble brukt til Mikrobiometertest, Mikroliv og Solvita respirasjonstest og jordanalyser. Jord til DNA analyser av sopp og bakterier ble tatt ut ved å fylle 5 små rør med jord fra ulike steder noen meter utenfor og rundt rammen.



Bilde 2. En treramme 1 m² med trådruter ble brukt i felt for å samle inn jordhelsedata og for å finne igjen matpinner (grå plastpinner) som ble stukket ned i jorda i midten av rammen. Venstre bilde (vb) er fra beite ved Tingvoll gard den 19.5. 2021, da matpinner ble satt ut. Høyre bilde (hb) er fra måling av jordrespirasjon i Potetfeltet 6.7.2021. Foto Reidun Pommeresche.

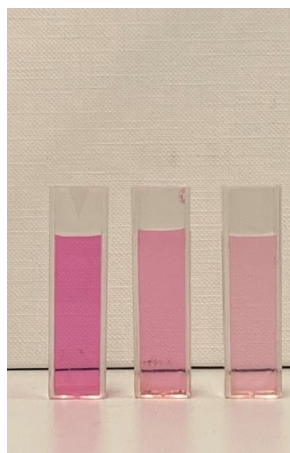
Jord til de analysene som ikke ble gjort i felt, ble tatt ut på to sider av trerammen, der vi ikke tråkka, ved å bruke en hagespade og kutte ut en liten jordblokk (ca 20 cm lang, 5-8 cm bred og 10 cm dyp) på hvert sted. Denne jorda ble lagt på en duk, røtter, planterester, stein og meitemark ble sortert bort, jorda ble forsiktig blandet. 500 ml av den blanda jorda ble sendt til analyse og 200-300 gram ble tatt i en poser med zipåpning, med papir i litt av åpningen for å gi noe luft til jorda under transport. Se Tabell 1 for oversikt over prøvetaking, dato og hvor ting ble gjort.

Tabell 1. Oversikt over behandlinger, hvilke prøver, samt dato for prøvetaking på to ulike steder i 2021. Datoer da jord til prøvene ble samlet inn, mens for matpinner er det dato de ble satt ut og to datoer de ble registrert. På garden ble prøver tatt tre ulike steder innad i to ulike 2.års enger (Eng1 og Eng2), i en 4.års eng (Eng3) og fra et beite (Beite). I Potetfeltet ble det tatt jordprøver fra ruter (3,3 m x 10 m) som to år tidligere var blitt tilført ulike typer OM. Dette var biokull dynket i flytende del av biorest Biokull+ (BK+); fast del av biorest (BR) etter biogassproduksjon av ulike typer organisk avfall eller hestegjødsel (HG) med noe strø. Det var også med kontrollruter som ikke fikk noen organisk gjødsel (KO).

	Tingvoll gard:	Potetfelt:
Behandling (3 gjentak av hver)	Eng1, Eng2, Eng3 og Beite	BK+, BR, HG og KO
Tester	Prøvedatoer	Prøvedatoer
Aktivt karbon (POX-C)	1.6.2021 (okt. 2021)	6.7.2021 (okt. 2021)
Matpinner satt ned i jorda	26.5.-1.6.-7.6.	6.7.-12.7.-15.7.
Pasco CO ₂ , i felt (3 i hvert gjentak)	1.6.	6.7.
Spretthaler og midd (jordprøver)	1.6. (2.6- 9.6. utdriving)	Ikke gjort i potetfeltet
Microbiometertest (MBT)	1.6. (testet 2.6.-3.6.)	6.7. (testet 7.6.-8.6.)
Solvita CO ₂	1.6. (testet 2.6.-3.6.)	6.7. (testet 7.6.-8.6.)
Slake test (Slakes app)	1.6. (test tørr jord feb. 2022)	6.7 (test tørr jord feb. 2022)
Jord (analyse OM/kjemi) (0-10 cm)	1.6. (analysert hos Eurofins)	6.7. (analysert hos Eurofins)
Mikroliv (ML)	1.6. (gjort av Mikroliv)	6.7. (gjort av Mikroliv)

Aktivt karbon (POX-C)

Permanganate oxidizable karbon (POX-C), eller aktivt karbon, indikerer andel av de organiske karbonforbindelsene i jorda som brytes lett ned og dermed kan øke biologisk aktivitet i jorda. Jorda fra felt (0-10 cm) ble lagret kjølig (4°C) til analysering (Weil mfl., 2003). 2,5 g lufttørket siktet jord (2 mm) ble tilsatt 20 ml 0.015 Mol KMnO₄ og 0.1 M CaCl₂ i et plastrør (50 ml) og ristet (Bilde 3). Ekstraktet ble så analysert ved 550 nm bølglengde i et Genesys 50 UV-Vis Spektrophotometer. POX-C (mg C / kg lufttørket jord) = POX-C oksidert karbon i jordprøvene (mg) / tørr jord (kg).



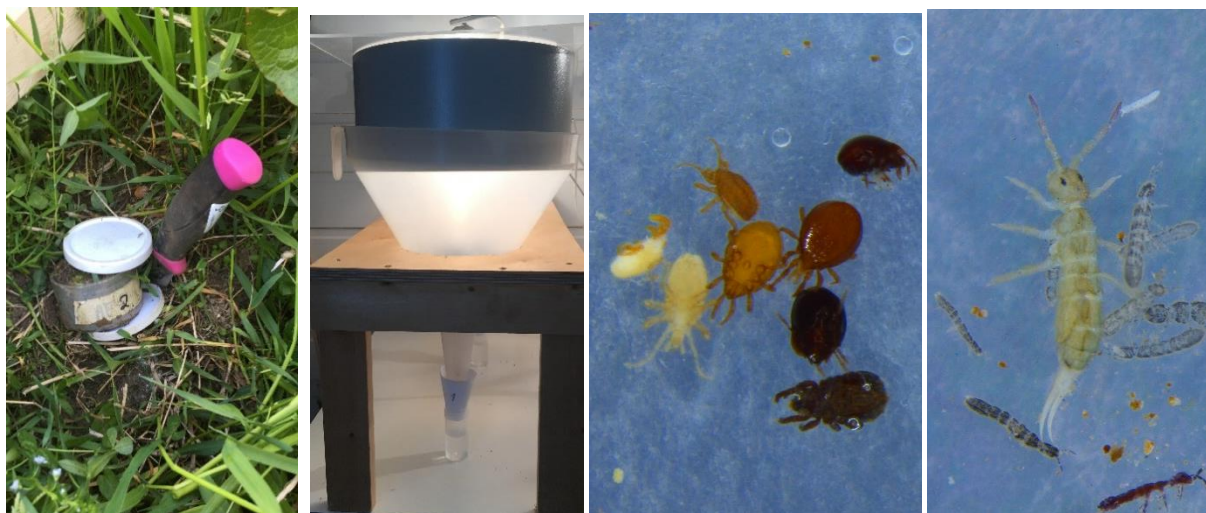
Bilde 3. Jord blandes med en kjent konsentrasjon av permanganatløsning, ristes kraftig på en maskin og væske fra dette tynnes ut og has i små gjennomsiktige rør (vb). Jo mer farge som er igjen, desto mindre aktivt karbon er det i prøven (mb). Prøvene leses av i en maskin (hb), for så å omregnes til mengde aktivt karbon pr gram tørr jord (Foto R. Pommeresche).

Tetthet av spretthaler og midd

De fleste spretthaler og jordlevende midd omsetter OM i jord og beiter på mikroorganismer. De er en viktig del av mesofaunaen i jord. Spretthaler og midd spiser og findeler planterester og husdyrgjødsel i jord, og noen beiter på sopp og bakterier (Hopkin 1997). Noen er også predatorer som spiser smådyr i jord. Ekskrementer fra mesofaunaen er viktig partikulært OM i jord knyttet til karbonkretsløpet og plantenæring i jord. Les mer om spretthaler hos Pommeresche og Fjellberg (2011) og midd hos Pommeresche og Seniczak (2018).

Midd og spretthaler ble samlet inn fra jordprøver på 100 cm³ tatt i metallsylindre i de øverste 4 cm av jorda (Bilde 4). Før prøvene ble tatt ble eventuell gras og vegetasjon klippet helt ned. Prøvene ble tatt av jord mellom store planter, mens røtter fra mindre planter ble med i prøven. Metallsylindrene vi brukte var 5,8 cm i diameter og 3,8 cm høye, det gir jordprøver på 100 cm³ (1 dl). Metallringene ble banket forsiktig ned i bakken med en gummiklubbe. Med en vanlig tollekniv ble metallring og jord skåret og vippt opp av marka. Overskuddsjord som er under ringkanten ble skåret bort, og det ble satt på lokk over og under prøven under transport. Prøvene ble så innen en time satt i utdrivningstrakter med lys/varme for å drive ut spretthaler, midd og andre småkryp i jordprøven.

Spretthaler og midd ble telt under lupe og delt i to litt grove grupper knyttet til levested og/eller funksjon i jorda. De hvite spretthalene med korte antenner og redusert hoppegaffel har oftest tilholdssted i ganger og porer i selve jorda. De med farge og lengre ekstremiteter lever mer i overflaten og i vegetasjonen (Salmon mfl. 2014, Pommeresche og Løes 2014, Pommeresche mfl. 2017). For midd var inndelingen at de med lange bein er mer mobile og flere er predator, enn de med korte bein (hornmidd) hvor flest er nedbrytere (Pommeresche og Seniczak (2018). Antall/dl x 380 gi antall individer pr m² (0-3,8 cm jorddybde).

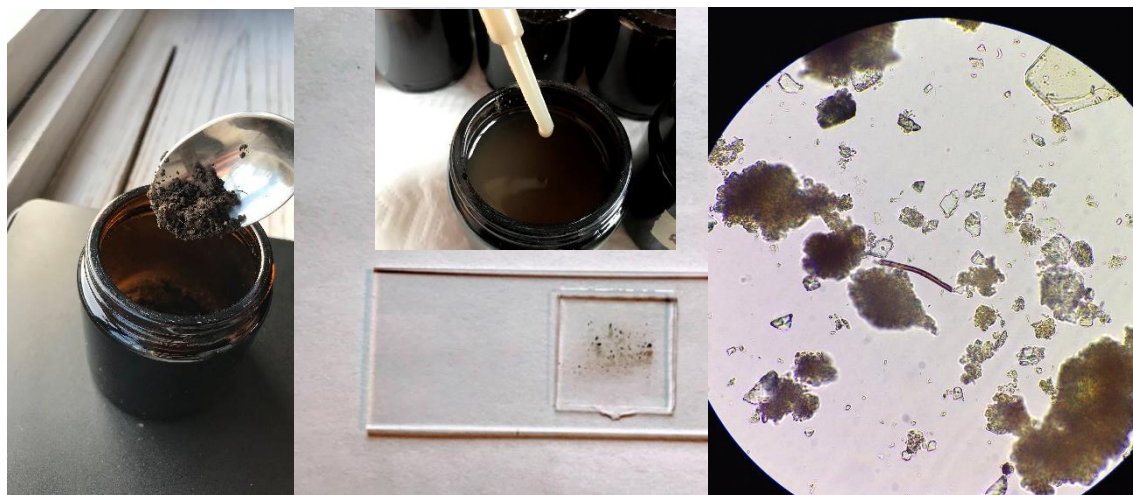


Bilde 4. Bildene er fra venstre 1 til 4. Uttak av jord med en metallsylindre til utdrivning og telling av spretthaler og midd (1). Utdrivningstrakt, der jordprøven legges på en rist og dyrene i jorda kryper nedover og bort fra varmen og lystes og faller til slutt ned i prøveglasset med etanol (2). Et utvalg midd (3) og spretthaler (4) fra eng- og potetjorda i prosjektet sett gjennom en forstørrende lupe. Ekte størrelse på middene er 1-2 mm og den største spretthalen er ca 3 mm. (Foto R. Pommeresche).

Mikroliv – en manuell vurdering av jord

Firmaet Mikroliv vurderte den økologiske statusen i jordprøvene manuelt ved å telle og se på mikrolivet. I denne metoden blandes jord med vann og står i to døgn, før det undersøkes med et mikroskop som forstørrer 400 ganger (Bilde 5). I en linje over jordvæsken som ligger på et objektglass telles antall sopphyfebiter. Mengden (biomassen) av sopp estimeres utfra lengde og diameter av

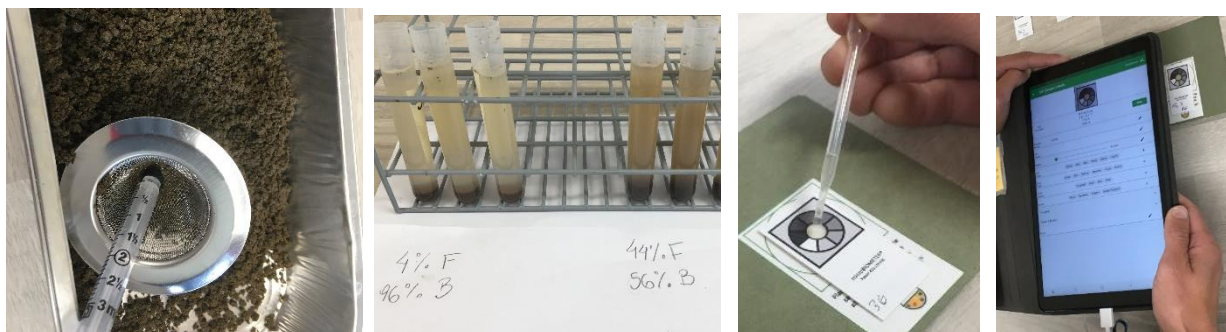
hyfene. For bakterier, telles antallet i en del av synsfeltet og det brukes en formel for å beregne biomassen utfra antallet. Resultatene oppgis som mikrogram (μg) sopp og av bakterier per gram jord.



Bilde 5. I Mikroliv sin manuelle metode for vurdering av jordprøver, blandes litt jord med vann og står i to døgn (vb). Så blir et bestemt antall dråper med jord- og mikroorganismer lagt på et objektglass og undersøkt under mikroskop (mb). Bildet til høyre ses gjennom mikroskopet og er jord fra en eng rute i prosjektet, der man ser en sopp (sopp) som en brun strek midt på bildet. De blanke kantete bitene er sandkorn av ulike slag. Mens noen av de mer brunaktige og mindre skarpkanta partiklene er OM. De uklare større klumpene er aggregater og er indikatorer for struktur. Noen av de minste gjennomskiktige partiklene er bakterier, men større forstørrelse trengs for å telle dem. (Foto Katelyn Solbakk).

Mikrobiometertest

Et estimat av mengde karbon som stammer fra mikroorganismer i jord, og andelen av dette som er fra sopp og fra bakterier er gjort ved å bruke testpakken microBIOMETER® (Bilde 6).



Bilde 6. Bilde fra venstre er 1 til 4. En liten mengde (0,5 ml) godt siktet og blandet jord brukes i mikrobiometertesten (1). Etter miksing og venting synker jorda til bunns i reagensrørene og sopp og bakterier holdes «flytende» i væskefasen (2). Tre dråper av væsken fra reagensrøret dryppes i midten av små «testkort» (3). Mengden og typen jordliv leses så av via en app på nettbrett (Foto R. Pommeresche).

I prosjektet ble jordprøver fra felt analysert ved å bruke testpakken microBIOMETER® (<https://microbiometer.com/>), kalt mikrobiometertest (MBT) videre i rapporten (Bilde 6). Ved hjelp av en «sprøyte uten spiss» ble det tatt en jordprøve på 0,5 ml, fra godt blandet og siktet jord fra felt. Et ekstraksjonspulver (NaCl og CaCl_2) ble blandet med 9,5 ml vann i et prøverør. Jordprøven ble så overført til prøverøret med vann og kjemikalier og mikset med en elektrisk liten visp i 30 sek. Etter 20 minutter ble de tyngre materialene fra jordprøven samlet i bunn og mikrobielt materiale skal være løst i væskefasen. Innen 2 minutter etter å ha overført 3 dråper av væskefasen fra prøverøret til et «testkort», ble det ved hjelp av en medfølgende app, foretatt analyse av prøvedråpene basert på bilder som appen tok. Resultatene gis som mengden karbon ($\mu\text{g C}$) fra mikrobiell biomasse i prøven per gram prøvejord (ikke tørket). Prosentvis andel mikrobielt karbon knyttet til sopp (Fungi) (MBT_F%) og prosentvis andel mikrobielt karbon knyttet til bakterier (MBT_B%) og det relative

forholdet mellom mikrobielt karbon (biomasse) som stammer fra sopp og bakterier (MBT_F/B) oppgis også som resultater. Retningslinjene for tolking av resultatene (Tabell 2) har store intervaller og økende mengde totalt mikrobielt karbon følges av en økende andel sopp i prøvene.

Tabell 2. Microbiometertest (MBT) sine retningslinjer for tolking av funnverdier oversatt til norsk. Finner man under 200 mikrogram mikrobielt karbon i jordprøver i jordbruksjord er det lite og over 800 angis som veldig bra.
<https://microbiometer.com/wp-content/uploads/2021/12/interpreting-results-final-9-20.pdf>.

	Lav (MBT µg C/g)	Utmerket (MBT µg C/g)
Jordbruksjord	200	800
kompost	450	1700

Matpinner

Matpinner, «Bait lamina sticks», er en metode som brukes for å undersøke nedbryting av OM i jord samtidig som det gjenspeiler aktiviteten og til en viss grad mengden jordliv. Et antall tynne plastpinner, 16 cm lange med 16 hull (Ø 2 mm) som er fylt med OM, settes ned i jorda (Bilde 7). Det organiske materialet i hullene består av en blanding av finmalt cellulose, hveteklipulver og kull, ferdigfylt fra Terra Protecta GmbH, Berlin (Kratz 1998, Firmaet er nedlagt pr 2024). Etter 1-2 uker registreres hvor mye av det organiske materialet som er spist i hvert hull.

Alt jordliv kan spise av OM i hullene, men større organismer som meitemark og småleddsmark bidrar



Bilde 7. Matpinner er plastpinner med 16 hull som er fylt med OM (hb). Pinner med alle huller fylt med OM settes i jorda (vb og mb). Etter en viss tid tas matpinnene opp og da er noen hull spist tomme, noen er halvfulle og noen er helt fylt og urørt av jordlivet (hb) (Foto Reidun Pommeresche).

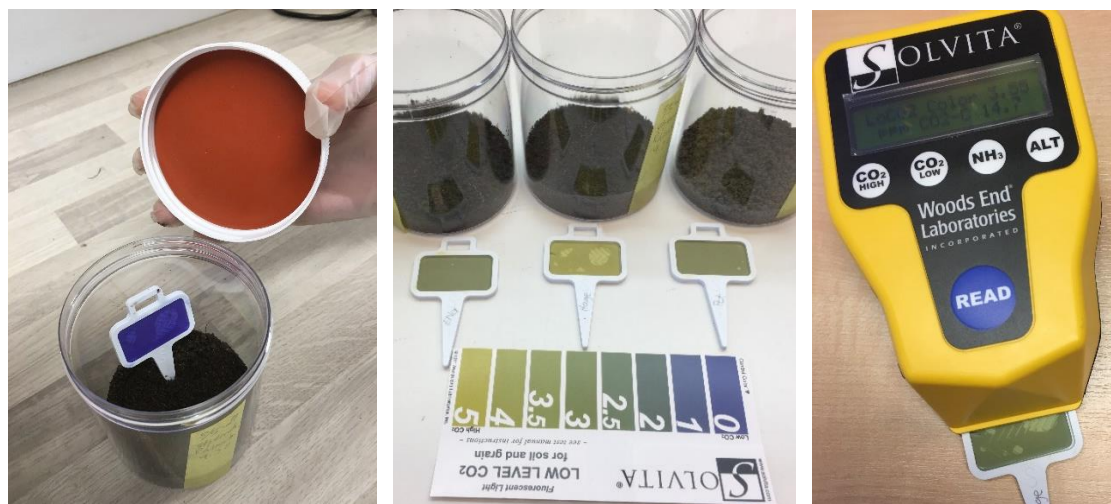
mer enn spretthaler og midd, som igjen antas å bidra mer enn mikroorganismer (Gestel mfl. 2003, Gongalsky mfl. 2008). Studier finner også at mer spises jo lengre pinnene står i jorda og at det oftest er en positiv sammenheng mellom antall organismer og mengden spist (Gestel mfl. 2003, Gongalsky mfl. 2008, Pelosi mfl. 2020). Temperatur og jordfuktighet betyr noe for hvor rask og hvor mye som spises. I prosjektet satte vi ned 4 matpinner, i de nedre 9 cm, på hvert sted/gjentak. Matpinnene ble stukket ned i det øvre jordlaget, ved å lage en tynn slisse med en metallfil først. Vi tettet litt jorda rundt pinnen øverst.

Etter ca en uke registrerte vi hvor mye av hvert hull som var spist og satte pinnene forsiktig ned i samme hull igjen. Etter ca to uker tok vi opp matpinnene og registrerte en siste gang. Pinnene ble satt ut i eng- og beite-feltene 26.5.2021 og i potetfeltet 6.7.2021 (se tabell 1).

Pinnene ble tatt forsiktig opp, tørket av, og løs jord ble blåst av ved å puste hardt langs pinnene og inn i hullene. For hvert hull på hver pinne ble det registrert om hullet var fylt, halvspist eller spist helt tomt, basert på hvor mye lys vi så gjennom hullene. Hull som enda var helt fylt med OM fikk verdi 0 som mengde nedbrutt/spist. Var hullet halvspist (< 50 % lys gjennom hullet) fikk det verdi 0,5 og var hullet mer enn 50 % spist fikk det verdien 1. Fikk en pinne 16 «poeng» var alt spist.

Jordrespirasjon målt ved fargeendring (Solvita test)

Jordprøvene ble siktet (4 mm) og 90 g jord fra hver prøve ble veid opp og overført til hvert sitt prøveglass på 475 ml (Bilde 8). I hvert prøveglass ble det satt inn et «plastsilt» med en reaktiv geleplate, hvor geleplaten skifter farge etter hvor høyt gasstrykket av CO₂ er i prøveglasset. Det ble satt tette lokk på glassene med jord og analyseskilt, og etter 24 timer i klimaskap ved 20°C ble geleplatenes farge avlest (Bilde 8). Ved hjelp av et spektrofotometer (måleapparat) fra Solvita ble fargene i de reaktive feltene på skiltene bestemt ([Soil Test - Solvita Field Soil Test - for measuring soil CO₂ respiration](#)). Spektrofotometeret gav en digital verdi (med benevnelse SCO2_Dcol) for fargen. Disse verdiene ble automatisk også konvertert til en tallverdi med benevnelse SCO2_ppmCO₂C, som angir karbonandelen av CO₂-gasstrykket i prøveglasset. Alle disse resultatene kan også avleses manuelt etter en fargeskala som følger utstyret. Høye verdier indikerer stor biologisk aktivitet og tolkes som bedre enn lave verdier.



Bilde 8. I Solvita respirasjonstest has siktet jord i et beger og et plastsilt med en blå geleplate settes i begeret som så får tett lokk på (vb). Geleen på platene skifter til ulike farger som gjengir mengde produsert CO₂ (mb). Fargen kan leses av via et fargekart (nederst mb) eller ved å sette skiltet i et måleapparat (hb) (Foto R. Pommeresche).

Jord respirasjon målt med CO₂ sensor (Pasco)

I denne metoden ble jordrespirasjon målt i felt ved å bruke en trådløs Pasco CO₂- sensor, der CO₂-konsentrasjonen måles som den mengden infrarød energi som CO₂ gassen absorberer (Bilde 9). Sensoren kalibreres med programvaren til en utgangsverdi på 400 ppm CO₂ som er i vanlig uteluft. Data fra CO₂-sensoren kommer inn og styres via mobilen i programmet SPARKvue. For selve målingen satte vi tre plastflasker på 250 ml uten bunn i hver rute. Flaskene ble presset litt ned i bakken. Endringen i CO₂ konsentrasjon inni flaskene ble målt i tre minutter og helningen/stigningen på respirasjonskurven ble brukt som mål (proxy) for respirasjonsraten (ppm/s). Høye verdier indikerer stor biologisk aktivitet og tolkes som bedre enn lave verdier.



Bilde 9. Til respirasjonsmålinger i felt ble plastflasker uten bunn (vb) presset litt ned i bakken, slik at det ble lufttett rundt kanten. Sensoren ble så satt i åpningen og målte i 3 minutter (mb). Prøveflasker i potetfeltet der flasken bak den gule pinnen har sensoren i som måler CO₂ (vb). (Foto R. Pommeresche).

Slakes - app for erosjonstest av aggregatstabilitet

For å vurdere aggregatstabilitet testet vi ut appen SLAKES ved å installere og bruke den på en Iphone (Bilde 10). Appen er utviklet ved Universitetet i Sydney (Australia) basert på data og beregninger av Fajardo mfl. 2016. Denne appen er også testet opp mot regnsimulering av aggregater i en norsk masteroppgave (Julseth Brown, 2021) og i en studie i leirjord (Flynn mfl. 2020).



Bilde 10. Lufttørka jordklumper (4-8 mm) ble brukt i stabilitets/erosjonstesten (Slakes) (vb). I en app tas det bilde av tørre aggregater, så has det vann rundt og det tas en serie med bilder i løpet av 10 minutter (mb). På skjermen i appen ser man en rød kant rundt aggregatene (hb), dette er med å «beregne» endring i aggregatenes form utover i målingen. Det måtte være en viss størrelse på aggregatene for at denne røde arealkanten skulle bli stabil og for at målingen skulle kunne kjøres (Foto R. Pommeresche).

Appen beregner en erosjonsindeks (slake indeks SI) ved å ta 600 målinger av tre ulike tørre jordaggregater som senkes i en petriskål med vann i løpet av 10 minutter (Bilde 10). Dette blir motsatt av aggregatstabilitet, derfor viser lave verdier mindre rask erosjon og dermed større stabilitet. **I appen angis at Indeks < 3 indikerer høy stabilitet, mellom 3-7 moderat og over 7 lav aggregatstabilitet.** Julseth Brown fikk nesten bare SI verdier lavere enn 4 og sammenlignet resultatene i regnsimuleringen. **Han kom med forslag om en noe strengere inndeling for indeksskalaen: 0-1 = utmerket aggregatstabilitet, 1-2 = god aggregatstabilitet mens høyere verdi enn 2= dårlig stabilitet (Julseth Brown, 2021).** Han konkluderte også med at verdien for siste måling (SI-600) var like riktig, om ikke mer riktige enn den SI som algoritmen i selve appen regnet ut.

Til denne testen ble jorda samlet inn ved å klippe bort vegetasjonen, så trykket vi et plastbeger ca. 5 cm ned i jorda, skar med en kniv rundt dersom det var vanskelig å få ned begeret, og skar løs under.

Beger med diameter på 3 cm ble brukt i potetjorda og beger med 5 cm i diameter ble brukt i eng. Jorda ble samlet inn den 1.6.2021 i eng og den 6.7. 2021 i potetfeltet. Jorda med intakte aggregater ble lufttørket i begeret til mars 2022 da vi gjorde testene (Bilde 11).



Bilde 11. Jord med intakte aggregater ble tatt ut fra det øverste 5 cm av jorda og lufttørket til det ble kjørt test på dem (vb). De to neste bildene viser lufttørka jordprøver og 9 jordaggregater (4-8 mm) som ligger på millimeterpapir. Noen av disse aggregatene ble testet med appen Slakes for stabilitet/erosjon. Bilde fra en engprøve i 2.års eng (midten) og fra en kontrollrute i potetfeltet. (Foto R. Pommeresche).

Vi brukte følgende prosedyre etter en del prøving og feiling. Vi laget et stativ for å legge/feste telefonen. Aggregatene skulle være tørre og mellom 2-15 mm, men de små (< 4 mm) ble ikke registret skikkelig i appen, så vi brukte større aggregater rundt 6 mm (4-8 mm). Vi plukket ut 9 aggregater fra en jordprøve og brukte disse til testingen. Vi la 3 tørre aggregater i en tom petriskål med diameter 10 cm, startet appen med å ta første bilde, så dusjet vi aggregatene med en sprayflaske og fylte forsiktig vann i petriskåla. Dette fordi vi ikke kunne flytte aggregatene med pinsett eller fingrene uten at de knuste. Vi hadde straks på vann startet appen (Bilde 10).

Avstanden fra aggregater/skål og opp til telefonen og lys var en utfordring, så vi valgte å ha telefonen så nær (6-8 cm) at det ble stabil rød kant rundt de tre aggregatene, slik det ser ut i instruksjonen i appen, men da var ikke mobilkameraet helt i fokus. Vi hadde tenkt å bruke appen på 3x3 aggregater fra hver av de 12 prøvene fra eng og de 12 fra potet. Det var såpass mange ganger at appen bare «datt» ut, målte helt rare tall, ikke startet osv. at vi endte med bare å få en «normal» gjennomført test av 3 aggregater fra hver av de 8 behandlingene og gjentak (24 resultater).

Jordanalyser – 0-10 cm

Like utenfor den 1 m² store rammen som ble brukt i feltarbeidet, ble det tatt ut en samleprøve av jord til mellom annet kjemiske analyser hos Eurofins og jordfuktighet. To spadestikk med jord hver på ca 20 cm x 7 cm og 10 cm dypt ble tatt ut. Jorda ble lagt på en voksdug, røtter, planter, stein og meitemark ble sortert ut, jorda ble godt blandet.

Litt av hver prøve fra denne jorda ble veid fuktig, hatt i tørkeskap ved 105 °C til stabil vekt og veid på nytt. Vekttapet dividert på utgangsvekta av prøver gav jordfuktighet beskrevet som gravimetrisk vanninnhold i %. Dette er det samme som forholdet mellom vekt av vann og jord i prøven før tørking.

Jorda ble tørket i tørkeskap ved 30 °C før prøvene ble sendt til Eurofins for analyse. Volumvekt, jordart, leirklasse, mold %, glødetap, pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, Ca-AL og Na-AL ble analysert.

De kjemiske analysene ble gjort i tørr og sikta (< 2mm) jord. pH måles ved å tilsette deionisert vann, med én del jord og 2,5 deler vann (volumbasert). **Glødetap** er et mål på innholdet av **organisk materiale (OM)** og analyseres som prosent vekttap av ovnstørkede jordprøver (~10 g) av siktet jord etter forbrenning ved 550 °C i 4 timer i en forbrenningsovn. I jord som har lavt innhold av leire (< 5 %), kan glødetapsverdien brukes direkte som estimat på innhold av OM (soil organic matter SOM). I norske analyser oppgis også OM som **Mold (%)**, en **korrigert variant av glødetapet** (Tabell 3), basert på jordart og leirinnhold. Innholdet av karbon i OM/mold/korrigert glødetap er ca 50 % (Pribyl 2010). **Vi har brukt glødetap som resultatverdier for våre estimater og beregninger i dette prosjektet.** Dette fordi det er det som analyseres og ikke alle land følger den norske korrigeringen til moldinnhold. Dette innebærer at innholdet av OM i leirjord blir litt overestimert i forhold til innholdet i leirfattig jord.

Tabell 3. Tabellen viser eksempler på volumvekt for norske jordarter og sammenhengen mellom to måter å beregne innholdet av OM i en jordprøve på. Enten som glødetap (GT%) eller som moldinnhold (MOLD %), sistnevnte er en korrigering av verdien for glødetap, i ulike jordarter basert på ulikt innhold av leire (Krogstad 2009).

Eksempler volumvekt (lab) ulike jordarter		Leirklasser for korrigering av glødetapsverdien.				
	volum vekt	Noe av det målte glødetapet skyldes fordamping av vann bundet til leirpartiklene.				
Ulike jordarter (jordart)	kg/l	Glødetapet tenger derfor å justeres noe ned for å gi et mer riktig innhold av organisk materiale (Mold)				
Mellomsand (2)	1,13					
Siltig mellomsand (5)	1,21					
Siltig finsand (6)	1,30					
Silt (8)	1,20					
Lettleire (9)	1,59					
Siltig lettleire (10)	1,41					
Mellomleire (11)	1,43					
Moldholdig mineraljord (13)	0,68					
Organisk jord (14)	0,31					
		Jordart	Leirklasse	Leirinnhold	Korreksjonstall fra glødetap til mold	Omregning fra glødetap til mold (organisk materiale)
		1 Grovsand, 2 Mellomsand, 3 Finsand, 13 Mineralblandet moldjord og 14 Organisk jord	1	< 5%	0	GT i % = Mold i %
		4 Siltig grovsand, 5 Siltig msand, 6 Siltig finsand, 7 Sand, silt og 8 Silt	2	5-10 %	minus 1	GT i % - 1 = Mold i %
		9 Lettleire og 10 Siltig lettleire	3	10-25 %	minus 2	GT i % - 2 = Mold i %
		11 Mellomleire	4	25-40 %	minus 2,5	GT i % - 2,5 = Mold i %
		12 Stiv leire	5	> 40 %	minus 3,5	GT i % - 3,5 = Mold i %

Statistikk og beregninger

Statistiske analyser ble gjort i analyseverktøyet MiniTab. Vi testet forskjellen mellom ulike behandlinger/systemer ved å bruke enkel ANOVA. Statistiske tester ble vurdert som signifikant forskjellige ved $p < 0,05$. Vi kaller det trender når p -verdien er mellom $0,05 < p < 0,07$. Statistisk signifikante forskjeller mellom behandlinger ble funnet ved bruk av Tukey t-test. Vi brukte også enkel lineær regresjonsanalyse for å sammenlikne ulike tester.

For å kunne visualisere og tolke resultatene av jordhelseindikatorene i en samlet figur fra flere skifter på en gard, beregnet vi responsforholdet og gjorde resultatene av de ulike indikatorene sammenliknbare. Vi «normaliserte» dataene ved å dividere målte enkeltverdier med observert maksverdi for hver jordhelseindikator. Vi brukte to ulike tilnærminger:

1. Der vi hadde en kontrollbehandling (K0), som i Potetfeltet, beregnet vi responsforholdet (RR) som:

$$RR = \ln(X_{\text{behandling}}/X_{\text{gjennomsnittK0}}),$$

hvor $X_{\text{behandling}}$ er resultatverdien i behandlingen, og $X_{\text{gjennomsnittK0}}$ er gjennomsnittsverdien for indikatoren i kontrollen. RR-verdiene ble deretter skalert i prosent etter denne ligningen: % endring = $(e^{RR} - 1) \times 100$. Resultatene for de ulike indikatorene blir da høyere eller lavere enn kontrollverdiene.

2. Der vi ikke hadde kontrollbehandlinger, som på Tingvoll gard, ble responsforholdet (RR) slik:

$$RR = X_{\text{verdier}}/X_{\text{maks}},$$

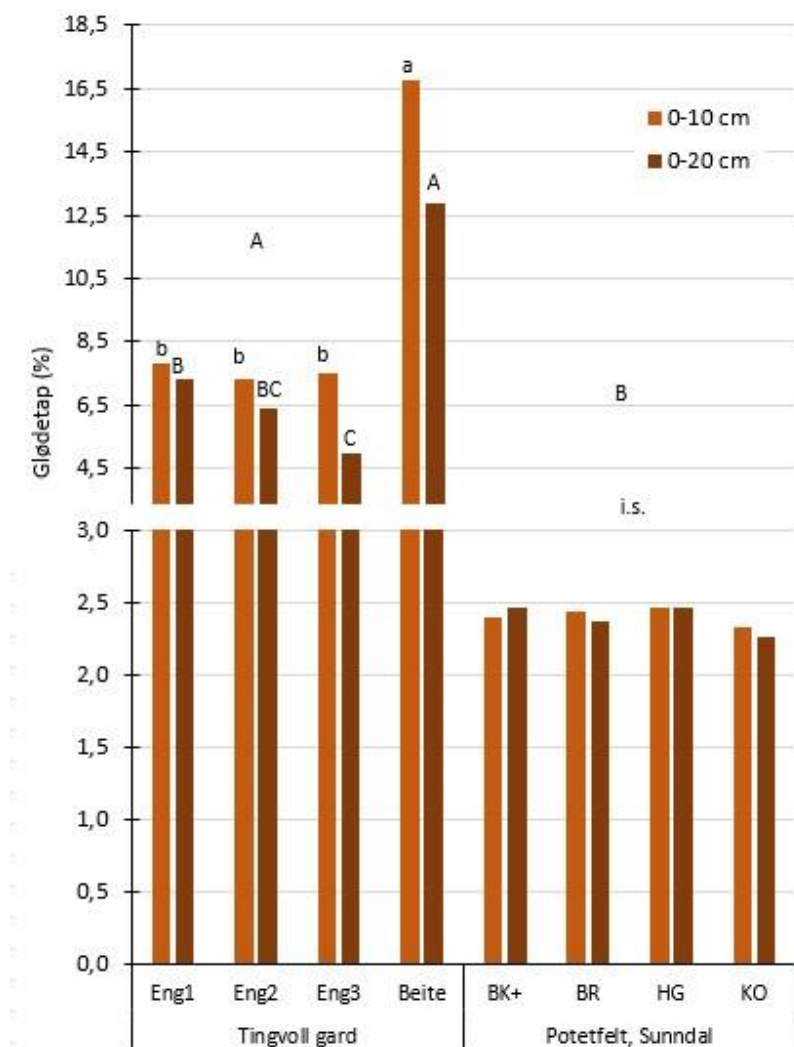
der X_{verdier} er resultatverdien målt, og X_{maks} er den maksimale verdien som er målt for indikatoren på garden. Her brukte vi ikke prosentandel, og verdiene varierte fra 0 til 1.

2.3 Resultater fra jord med eng og fra jord med potet

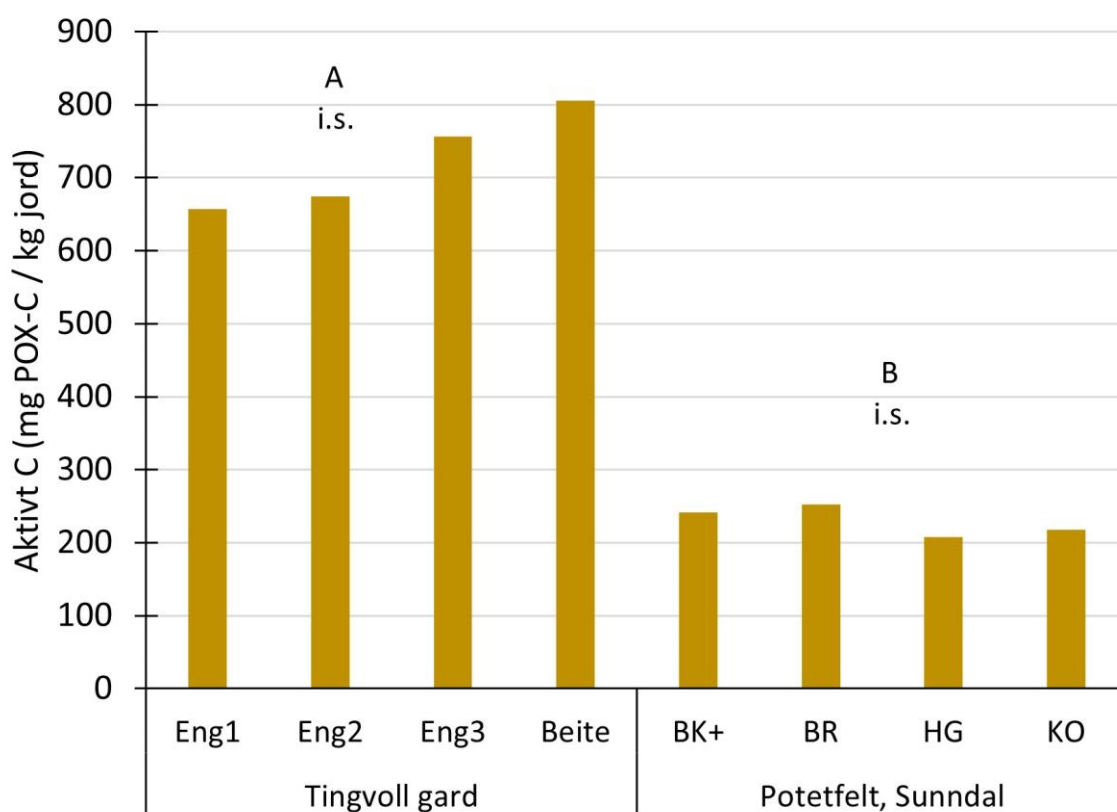
Glødetap og aktivt karbon (POX-C)

Glødetap er et mål for mengden organisk materiale (OM) i jord. Det gjennomsnittlige glødetapet i jorda fra 0-10 cm dyp varierte fra 2,3 % to 16,7 % i ulike behandlinger. Verdiene i prøver fra 0-20 cm jorddyb varierte tilsvarende fra 2,3 % til 12,9 % (Fig. 1). Det var i snitt litt høyere innhold av OM (glødetap) i jordprøvene som var tatt fra 0-10 cm sammenliknet med prøver tatt 0-20 cm.

Det var betydelig høyere glødetap i jorda fra skiftene med beite, sammenliknet jorda fra 2. års (Eng1 og Eng2) og 4.års eng (Eng3) både målt fra 0-10 og fra 0-20 cm prøvedyp. Innad på garden mellom ung og eldre eng var det minimale forskjeller (Fig. 1). Innad i potetfeltet var innholdet av OM rundt 2,4 % og en tendens til lavere innhold av OM i kontrollfeltet (KO), men forskjellen var ikke statistisk sikker ($p=0,452$ og $p=0,332$ for 0-10cm og 0-20 cm) mellom kontroll og de behandlingene med tidligere tilførte typer OM.



Figur 1. Innhold av OM i jord, målt som glødetap. Prøvene 0-10 cm er fra samme jordprøve som er brukt i de andre jordhelsetestene, mens prøvene 0-20 cm er fra samme steder tatt høsten 2021. Ulike bokstaver over søylene, viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$) mellom søylene innad på Tingvoll gard, mens det ikke var forskjeller (i.s.) innad i potetfeltet. Tingvoll gard er eng og beite på en økologisk melkeproduksjonsgard der Eng1 og Eng 2 = 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Potetfeltet er et konvensjonelt forsøksfelt som to år før målingene fikk tilført; HG: hestegjødsel med flis, BR: fast del av biorest, BK+: Biokull fra bartreflis tilsatt flytende del av biorest. Kontrollrutene (KO) fikk ikke tilført OM.



Figur 2. Innhold av aktivt karbon (POX-C) i jorda (0-10 cm). Ulike store bokstaver over de to stedene viser signifikant forskjell ($p < 0,05$) mellom stedene, mens ingen bokstaver over enkeltsøyler (i.s.), indikerer ingen signifikant forskjell innad mellom søylene på hvert av de to stedene. Tingvoll gard er eng og beite på en melkeproduksjonsgard, mens potetfeltet er forsøksfelt som fikk tilført ulike typer OM to år før målingene. For informasjon om behandlingene se Materiale og Metode. Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

Aktivt karbon er et mål på mikrobielt lett-tilgjengelig andel av partikulært OM i jord. Mengde aktivt karbon varierte i snitt mellom 660 og 810 mg aktivt karbon pr kg lufttørr jord (sollet jord < 2 mm) på de ulike skiftene på garden og var rundt 200 i potetfeltet (Fig. 2). Det var stigende snitt i mengde aktivt karbon fra ung eng, via eldre eng og til beite, men forskjellene var ikke statistisk sikre (i.s, $p = 0,315$). Det var ingen signifikante forskjeller mellom behandlinger i potetfeltet ($p = 0,745$).

Fun facts/ Fakta

Planter flytter karbon fra atmosfæren til jorda ved å binde CO_2 inn i plantedeler som blader, stilker og røtter (OM).

Jordlivet omdanner OM til næringsstoffer i jorda, lager unike jordaggregater og produserer CO_2 .

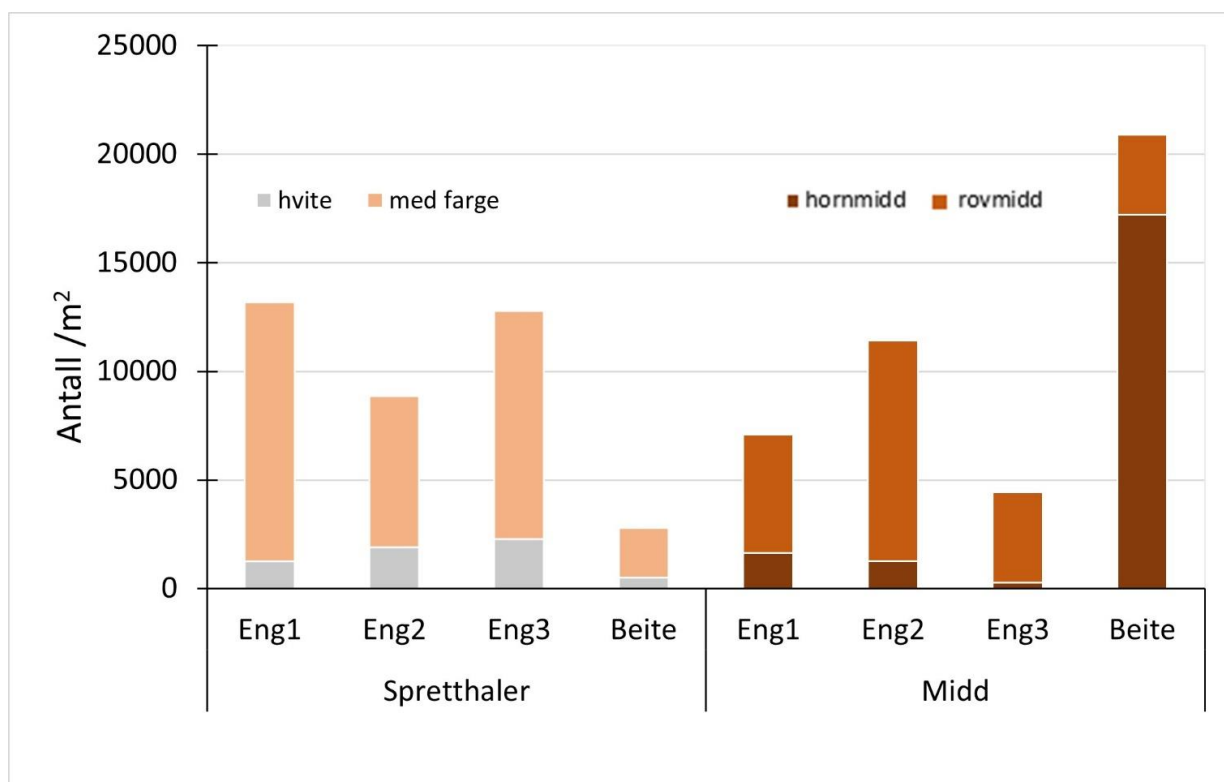
Ca 50 % av planterester og husdyrgjødsel er grunnstoffet karbon, resten er andre viktige stoffer i OM som nitrogen og fosfor.

Tetthet av spretthaler og midd

Jordlevende spretthaler og midd er viktige for omdanning av OM og for regulering av sopp- og bakteriepopulasjoner i jord. Noen er også predatorer.

Spretthaler og midd ble bare samlet inn fra jord på Tingvoll gard. Vi fant fra 8867- 13173 spretthaler omregnet til antall pr m² (0-3,8 cm jorddybde) i engene og 2786 i beite (Fig. 3). For midd var bildet motsatt, med lavere antall midd i engene (4433 -11400 midd/m²) enn i beite (20900 midd/m²).

Totalt fant vi ikke noen statistisk sikre forskjeller i mengde spretthaler mellom ung eng, eldre eng og beite. Det var en tendens ($p = 0,056$) til flere spretthaler i engene enn i beite. Motsatt var det tendens ($p=0,057$) til flere midd totalt og spesielt hornmidd i beitene sammenliknet med engene.

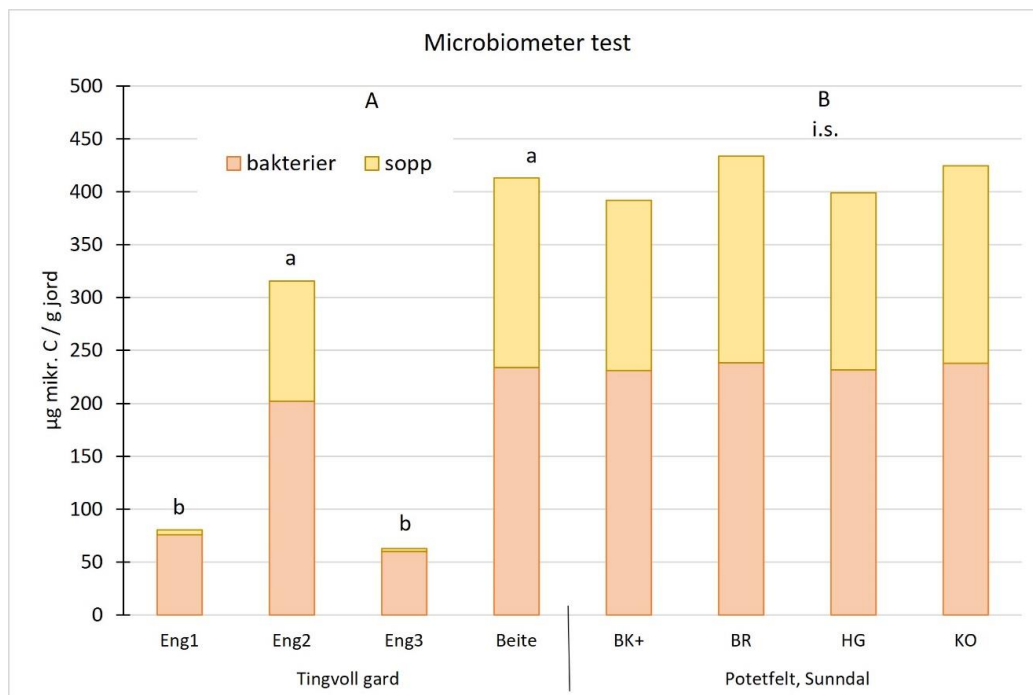


Figur 3. Gjennomsnittlig antall hvite og fargede spretthaler og jordlevende midd funnet i jord under eng og beite på Tingvoll gard. Det var ingen statistisk sikre (i.s.) forskjeller innad mellom antall spretthaler eller antall midd i jorda på de ulike skiftene. Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng.

Mengde og type mikroliv

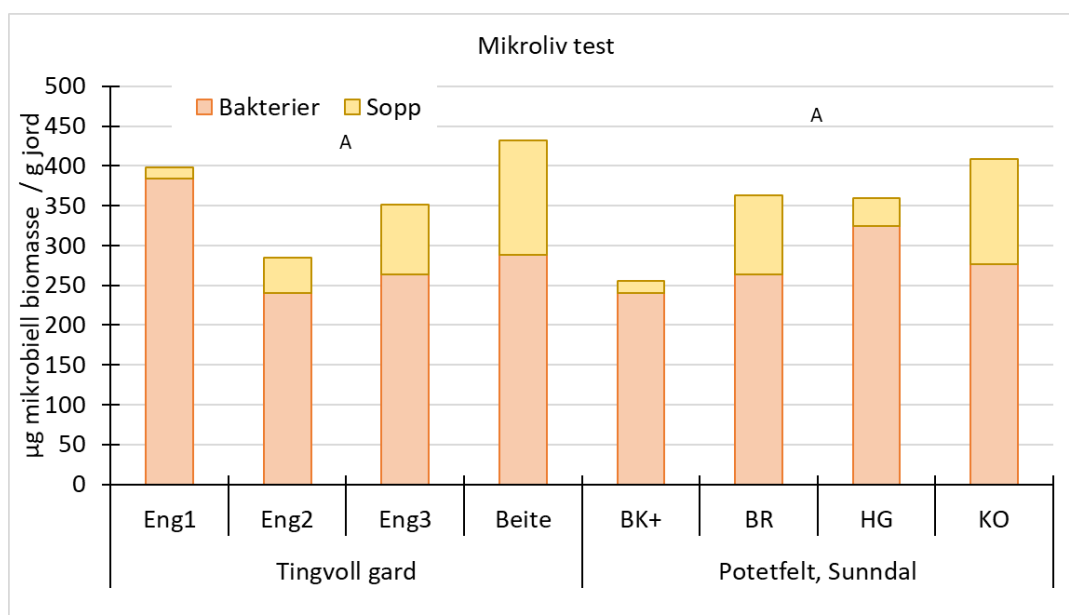
Vi registrerte jordlivet på to måter. En metode var å bruke en test som estimerer *mengde mikrobielt karbon* fra bakterier og sopp i jordprøvene (Mikrobiometertest = MBT). Den andre metoden var manuelt å telle en andel bakterier og sopphyfebiter, og utfra det estimere *hele biomassen* av henholdsvis bakterier og sopp og ikke bare karbonandelen (Mikroliv test, ML).

Mikrobiometertesten estimerte fra 63 til 434 µg mikrobielt karbon (bakterier + sopp) i de åtte ulike behandlingene (Fig. 4), mens fra den manuelle metoden (Mikroliv) var estimatene 256 - 432 µg total biomasse av mikroorganismer (Fig. 5).



Figur 4. Gjennomsnittlig mengde mikroorganismer i jorda delt i andel sopp og bakterier, målt med Microbiometer test (MBT). Ulike bokstaver over søylene, viser signifikante forskjeller ($p < 0,05$) mellom søylene innad på Tingvoll gard (totalt), mens ingen bokstaver over de andre søylene, betyr ingen signifikante forskjeller (i.s.) innad i potetfeltet. Eng1 og Eng 2 = 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

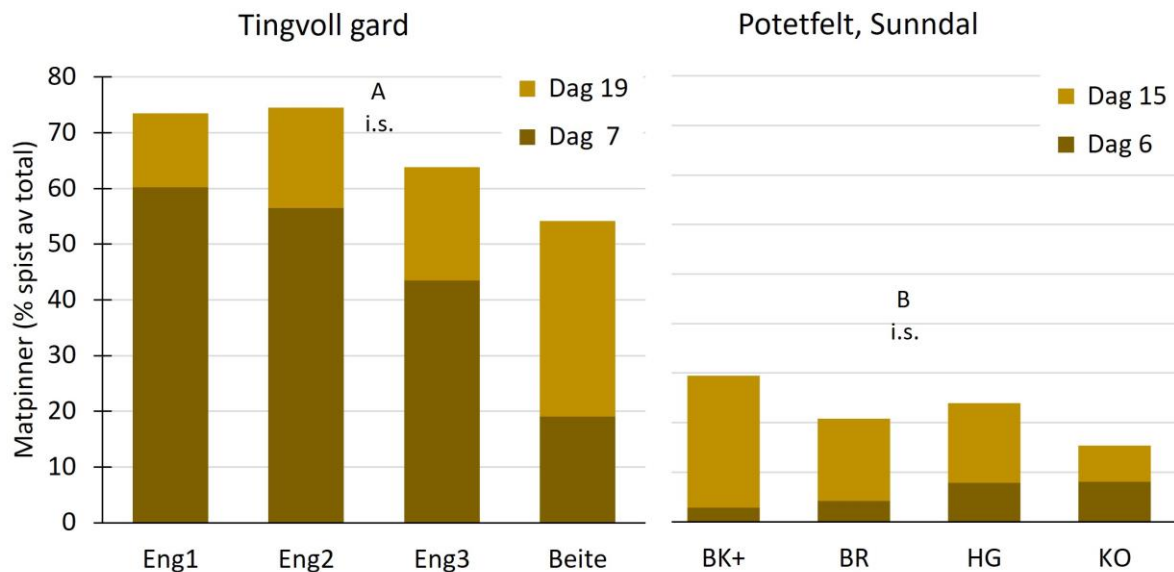
I jorda fra eng og beite gav de to metodene litt ulike mønster på resultatene, og også innad mellom alder på engene var det variasjon (se Fig. 4 og Fig. 5). MBT viste mindre totalt mikrobielt karbon og soppkarbon i den ene unge enga (Eng1) og den eldre enga (Eng3), sammenliknet med den andre unge enga og beite. Mikroliv-metoden viste litt høyere andel sopp i beite enn i den ene unge enga (Eng1). Det ble registrert en større andel sopp i forhold til bakterier i potetfeltet med mikrobiometer testen sammenliknet med mikroliv metoden.



Figur 5. Gjennomsnittlig mengde mikroorganismer i jorda estimert ved manuell mikroskopering (ML) målt som mengde biomasse og fordelt på mengde sopp og bakterier i jordprøvene. Prøvedyp var 0-10 cm i 2021 i eng og beite på Tingvoll gard og i potetfelt i Sunndal som to år før prøvetakingen var tilført ulike typer OM. Eng1 og Eng 2 = 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

Omdanning av OM

Ved å stikke plastpinner med små hull fylt med OM (matpinner) ned i jorda, undersøkte vi nedbryting av OM i jord. Resultatene gjenspeiler også indirekte aktiviteten og til en viss grad mengden jordliv.

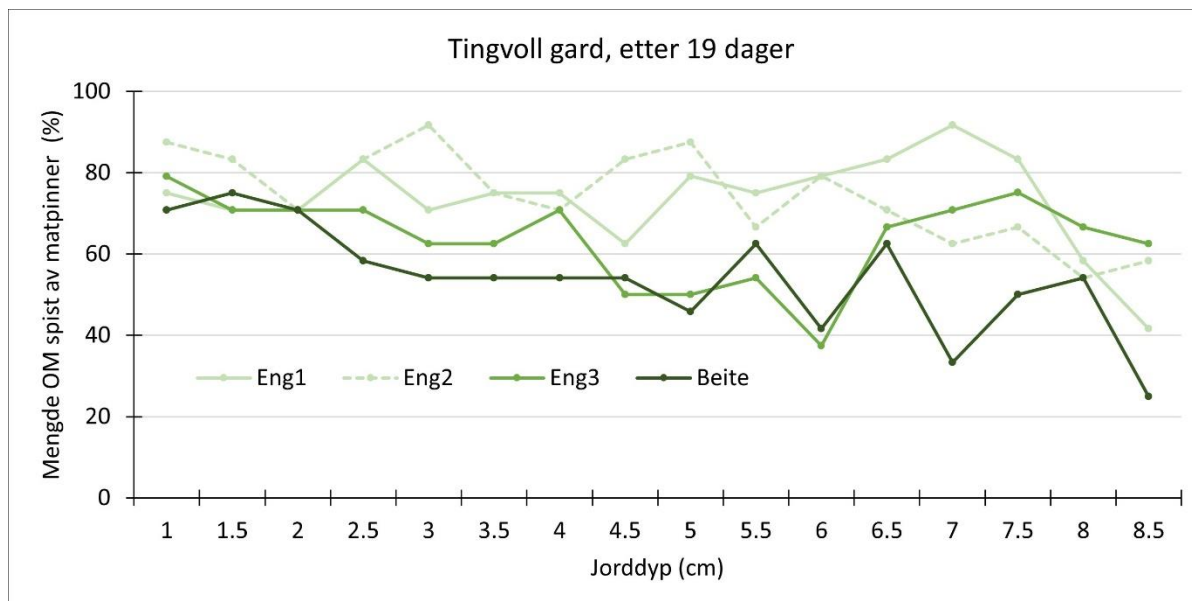


Figur 6. Total (kumulativ) gjennomsnittlig mengde spist materiale (%) fra matpinner i eng og beite ved Tingvoll gard og i potetfelt fordelt på to ulike antall dager etter at de ble satt ned i jorda (dag 0). Ulike store bokstaver over de to stedenes søyler viser signifikant forskjell ($p < 0,05$) mellom stedene, mens ingen bokstaver over noen av enkeltsøylene, indikerer ingen signifikant forskjell (i.s.) innad på de to stedene. Eng1 og Eng 2 = 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

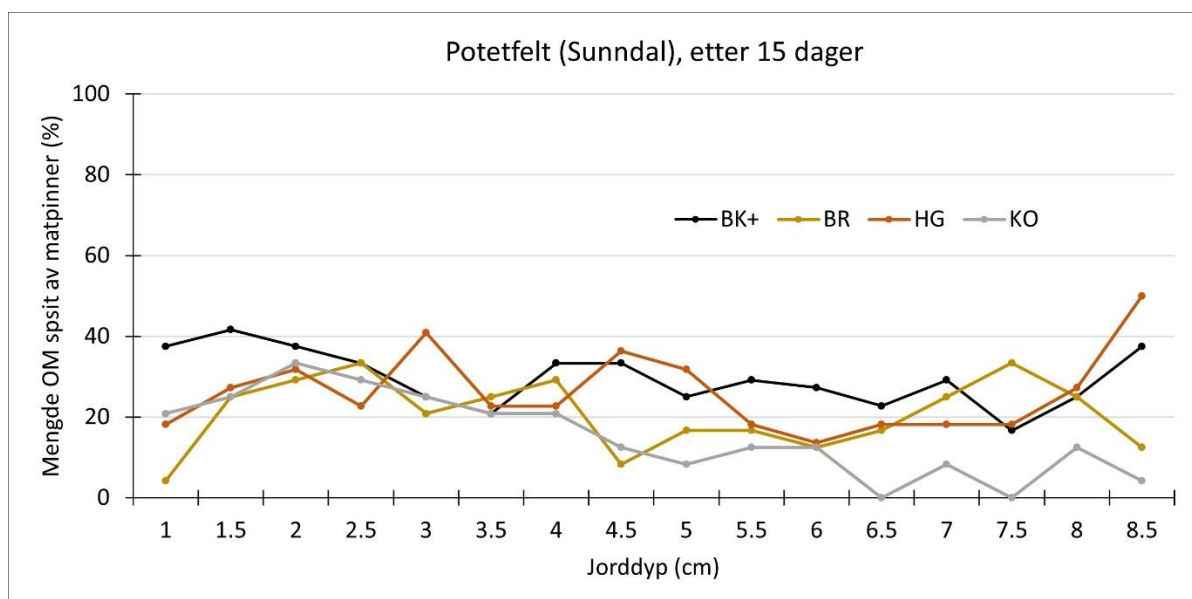
Det ble spist mer OM i engsystemet enn i potetfeltet ($p < 0,05$) (Fig. 6). I eng og beite ble det spist mest den første perioden etter at pinnene ble satt ut, mens i potetfeltet var det motsatt. På garden spiste jordlivet mellom 54% og 74% av det opprinnelige materialet i løpet av de 19 dagene matpinnene stod i jorda. Det virket som det var mindre spist i beite, men det var ingen statistisk sikre forskjeller mellom eng og beite.

I potetfeltet var mellom 15% og 29% av det organiske materialet i pinnene spist, litt mer i BK+ og HG, og minst i KO, men heller ikke her var forskjellene statistisk sikre.

Det ble spist mer OM i ung eng enn i beite, og noe mer nær overflaten enn dypere i jorda (Fig. 7). Det var høyere biologisk aktivitet i form av mer forsvunnet mat i pinnene i hele jordsjiktet (0-9 cm) i jorda under eng og beite på garden sammenliknet med potetfeltet (Fig. 7 og 8). Det ble spist mer OM i de to unge engene (Eng1 og Eng2) enn den eldre enga og minst var spist i jorda fra beitet. I potetfeltet var det ikke noe logisk mønster og relativt lik nedbryting (mengde spist) mellom 10-40 % i alle behandlingene. Muligens litt raskere nedbryting og mer spist i de øverste 4 cm i kontroll-leddet sammenliknet med 4-8,5 cm dyp (Fig. 8).



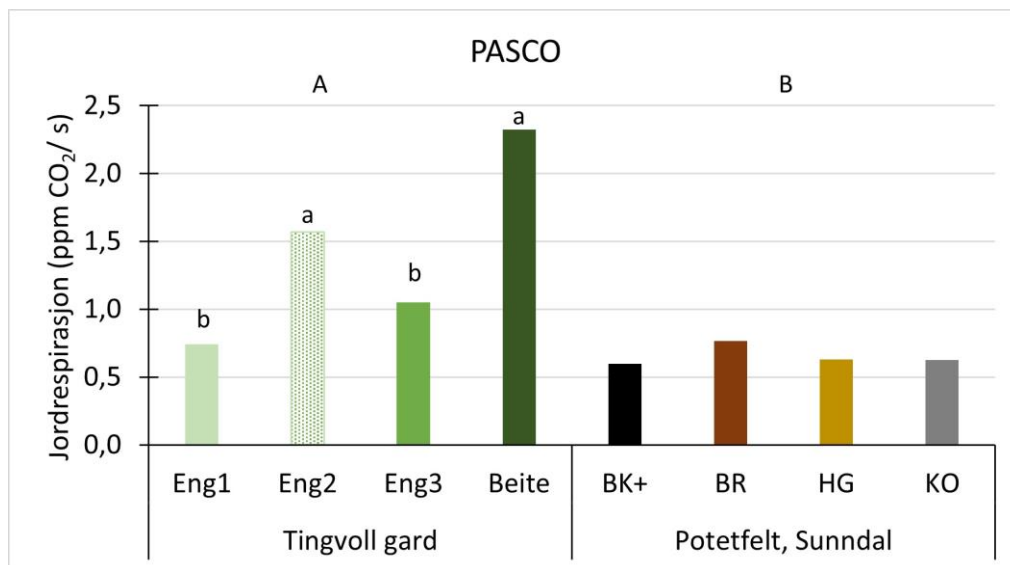
Figur 7. Gjennomsnittlig mengde OM spist fra matpinner i jord på ulike dyp (1-8,5 cm jorddybde) i eng og beite fra Tingvoll gard etter 19 dager i jorda. Behandlingene er Eng1 og Eng2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Det er 3 gjentak av hver eng/beite og det er 4 matpinner i hvert gjentak (n=12).



Figur 8. Gjennomsnittlig mengde OM spist fra matpinner i jord på ulike dyp (1-8,5 cm jorddybde) i potetfelt som har fått ulike typer OM tilført 2 år tidligere og en kontroll (KO) uten tilførsel. Resultater er fra opptak av matpinnene etter at de har stått 15 dager i jorda. Forkortingene for hver behandling (typer tilført OM) er forklart under Figur 1. Det er 3 gjentak av hver behandling og det er 4 matpinner i hvert gjentak (n=12).

Biologisk aktivitet i jord (Jordrespirasjon)

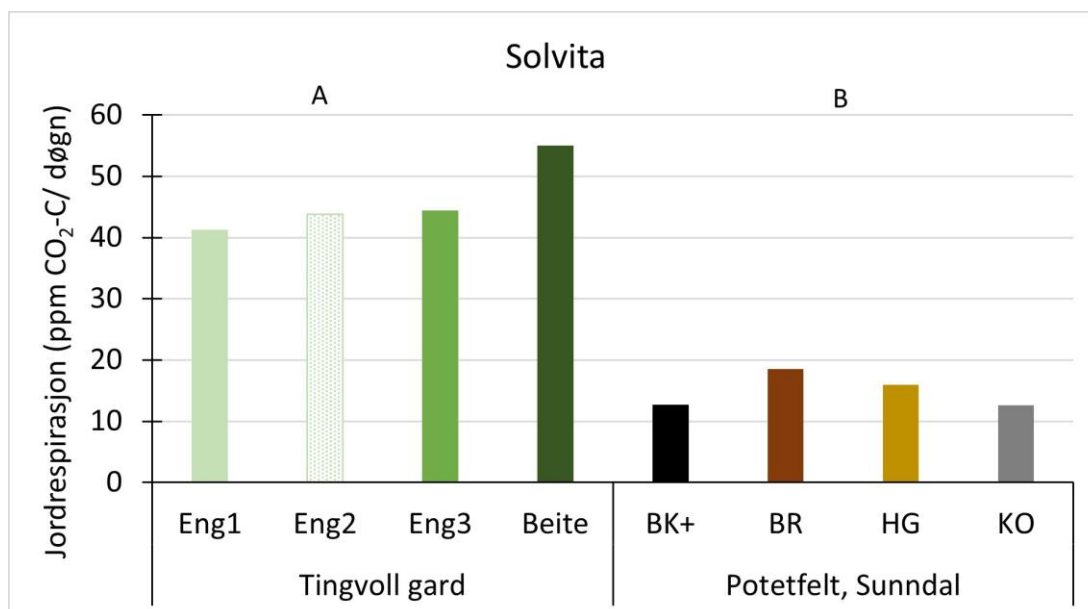
Karbondioksid (CO₂) som jordlivet produserer ved respirasjon ble målt på to måter, med en sensor (Pasco) over jorda ute i felt og med en geleplate som skifter farge når det produseres CO₂ (Solvita) fra jordprøver som ble tatt med inn, siktet og hatt på glass.



Figur 9. Biologisk respirasjon fra jord målt med sensor (PASCO) i felt på jordoverflata, fra eng og beite på Tingvoll gard og i potetfeltet, KO er kontroll uten tilført OM. Ulike store bokstaver over de to stedene viser signifikant forskjell ($p = 0,000$) mellom stedene, mens ulike små bokstaver over søylene, indikerer signifikant forskjell mellom søylene på hvert av de to stedene. Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

Det var høyere jordrespirasjon og derfor mer biologisk aktivitet i eng og beite på garden enn i potetfeltet, målt med begge metodene (Fig. 9 og 10). Begge metodene viste også høyere biologisk aktivitet i beite (Beite) enn i engene, men unntak i den ene unge enga (Eng 2) for Pasco-målingene.

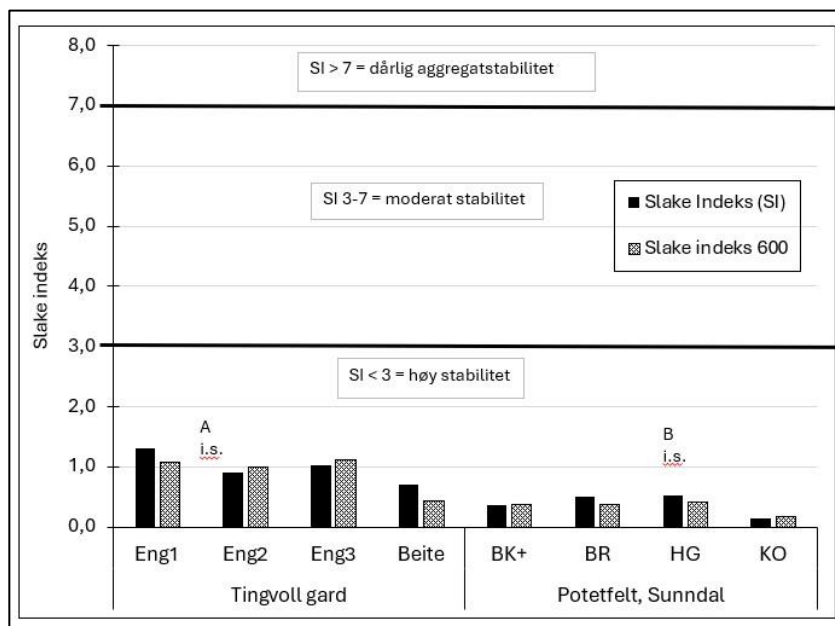
I potetfeltet var mønsteret likt mellom metodene med høyest snitt for biologisk aktivitet i BR > HG > BK+ og lavest i KO, men ingen av disse forskjellene var statistisk sikre (Fig. 9 og 10)



Figur 10. Biologisk respirasjon (Karbonandel av CO₂) målt fra siktet jord direkte fra feltet med Solvitatesten. Ulike store bokstaver over de to stedene viser signifikant forskjell ($p = 0,000$) mellom stedene, mens ulike små bokstaver over søylene, indikerer signifikant forskjell innad mellom søylene på hvert av de to stedene. Ingen små bokstaver, ingen signifikant forskjell (i.s). Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

Slakes - app for jordaggregatstabilitet/erosjonstest

Appen Slakes ble brukt til å vurdere aggregatstabilitet ved å ha tørre aggregater i vann. Appen tar bilder og regner ut en samlet «oppløsningsindeks» (Slakes indeks) og en verdi basert på måling nr 600 (slake indeks 600). Lav verdi viser dermed høy aggregatstabilitet og høye verdier viser rask oppløsning av aggregatene. Det var generelt lavere slake indekser (høyere stabilitet) av aggregater fra potetfeltet enn fra eng og beite på garden. Dette hadde vi ikke forventet.



Figur 11. Resultater av hvor raskt lufttørka jordaggregater (ca 5 mm små) fra ulike behandlinger løser seg når de kommer i vann (Slakes App). Desto lavere verdi, desto bedre henger partiklene sammen og desto mer stabile er jordaggregatene. Ulike store bokstaver over de to stedene viser signifikant forskjell mellom stedene for både SI og SI600. Innad mellom ulike systemer var det ingen signifikante forskjeller. Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng. Forkortingene i potetfeltet er forklart under Figur 1.

Slik metoden er, kan imidlertid resultatene tolkes på minst to måter. **I appen står at Indeks lavere enn 3 indikerer høy stabilitet, mellom 3-7 moderat og over 7 lav stabilitet.** Alle Slake indeksene og Slake indeks 600 som vi fikk var lavere enn 1,3 og kan utfra dette tolkes til at jorda i alle prøvene hadde høy aggregatstabilitet.

Legger vi Julseth Brown (2021) sine noe strengere grenser til grunn med **slake indekser 0-1 = utmerket aggregatstabilitet, 1-2 = god aggregatstabilitet mens høyere verdi enn 2= dårlig stabilitet.** Han konkluderte også med at indeks basert på siste måling (SI-600) var like riktig som Slake Indeks verdiene for alle målingene. Ifølge hans grenser var det **utmerket** aggregatstabilitet i potetjorda og under beite, og **god** aggregatstabilitet i jorda under eng.

2.4 Noen vurderinger av testene

Det er vanskelig å sammenlikne alle testene vi har brukt fordi noen av dem enda er under utvikling, mens andre er avhengige av ulikt utstyr og ulik kunnskap. Flere av testene er heller ikke brukt mye nok til at det er utarbeidet referanseverdier eller nivåer for hva som er bra og dårlig knyttet til jordbruksjord og jordhelse. Vi har gjort noen betraktninger knyttet til selve testene og til tolking og bruk av dataene de gir som indikatorer for jordhelse.

I tabell 4 har vi laget en oversikt over de ulike metodene og testene som er prøvd i prosjektet. Vi har kort beskrevet hva som måles knyttet til jordhelse og hvordan testene henger sammen med dette. Det er også notert noen fordeler og ulemper i forhold til kostnader og brukervennlighet.

Tabell 4. Tabellen viser de ulike metodene og testene som er prøvd i prosjektet, hva vi ønsket å måle knyttet til jordhelse og hvordan ulike indikatorer og tester henger sammen med dette. Noen fordeler og ulemper i forhold til kostnader og brukervennlighet er også tatt med.

Jordhelse	indikator	tester	fordeler	ulemper
Mengde/andel lett-tilgjengelig OM i jorda, mat og energi til jordlivet	Labilt karbon	Aktivt karbon (POX-C)	Rask	Lab-utstyr og spektrofotometer
Jordfruktbarhet	Total mengde OM og næringsstatus	Glødetap og kjemiske analyser	Mye data	Samleprøver med jord må tas og sendes
Diversitet/mangfold av mesofauna/jordliv	Tetthet av spretthaler og midd	Antall spretthaler og midd	Ser hva som er der	Arbeidskrevende
Diversitet/mangfold og biomasse/mengde mikroorganismer	Estimat av biomasse av sopp og bakterier	Mikroliv (ML)	Ser hva som er der	Arbeidskrevende
Diversitet/mangfold og biomasse/mengde mikroorganismer	Estimat av mengde mikrobielt karbon	Microbiometer (MBT)	Rask, enkel	Små jordprøver (0,5 g jord), nye oppdateringer
Nedbryting av OM og biologisk aktivitet	Nedbryting av OM	Matpinner	Enkel i bruk og å lese av	Trenger flere dager i jord, ikke i salg lenger
Biologisk aktivitet	Jordrespirasjon	PASCO- sensor	Rask, mange CO ₂ måling	Litt krevende å få estimert dataene
Biologisk aktivitet	Jordrespirasjon	Solventa- test	Enkel, billig	24 timer for en måling, trenger varmeskap
Jordstruktur og aggregatstabilitet	Hvor raskt jordaggregater løser seg i vann	Slakes - app	Fritt nedlastbar	Arbeidskrevende, ikke helt stabil i målingene

Alle testene var greie å gjennomføre og gav resultater, litt med unntak av Slake-appen der vi måtte kjøre 2-3 runder for å få ett resultat fordi den stoppet eller ikke beregnet indeks.

Flere av testene, men unntak av aktivt karbon (POX-C), glødetap og kjemiske analyser kan gjøres i felt eller på garden. Vi ser imidlertid at flere ting kan være utfordrende å gjennomføre i regnvær, slik at det er lettere å ha med jord inn et sted og gjennomføre testene der. Det er også lettere å gjøre flere målinger med samme test samtidig fra ulike prøver av innsamlet jord, enn å gjøre alle testene enkeltvis på hvert skifte, fordi det tar noe tid å rigge utstyret og gjennomføre testene. Noen tester må også stå litt i jorda (matpinnene) eller i utdrivningstrakter (spretthaler og midd) og gjør at det blir flere tidspunkter med registreringer.

En betraktning knyttet til mengde mikroorganismer, mikrobiometertest og manuell telling hos Mikroliv, er at de to testene gav nesten samme nivå på mengde mikroliv i jorda. Nivået var likt selv om Mikroliv metoden estimerte innholdet som *total biomasse*, og Mikrobiometer testen estimerte

det som innhold av *mikrobielt karbon* i biomassen. Hele biomassen av en organisme er mer enn organismens innhold av karbon, så mengdene metodene måler er ikke sammenliknbare. Dette er mest sannsynlig tilfeldig fordi de to metodene har veldig ulike estimering av mikrobielt innhold i jordprøvene.

Gordon (2021) sammenliknet ulike jordhelsetester og fant en positiv samvariasjon mellom microBIOMETER® og en analyse for proteininnhold i jorda og for aktivt karbon (POX-C), men ikke for respirasjon, eller to andre måter å måle mengde og mikrobiell aktivitet i jorda på. I en annen mastergrad var konklusjonen at microBIOMETER® testen var lite følsom og ikke viste signifikante forskjeller i jord med og uten pløying og/eller ved bruk av ulike plantevekster (Sain 2022).

Solvita-testen er en mye brukt metode for å vurdere CO₂-nivåer i jord. Det er en kjemisk fargeprøve som baserer seg på reaksjonen mellom lufta fra en jordprøve og en reaktiv gel som inneholder pH-sensitive fargestoffer. Denne reaksjonen fører til en fargeendring, som kan kvantifiseres og korreleres med CO₂-nivåer. Solvita-testen er enkel og gir raske resultater. Den kan være nyttig for vurdering av jordhelse og kan gi raskt svar i praktisk landbruk, ulempen er at den må bestilles fra utlandet. PASCO-sensoren, som ofte brukes i atmosfærisk overvåking, er en elektronisk enhet som direkte måler CO₂-konsentrasjoner i luften. Denne sensoren baserer seg på infrarød absorpsjonsspektroskopi for å oppdage CO₂-molekyler. Den er nøyaktig, presis og gir sanntidsdata. Begge metodene kan være brukbare, men ikke som eneste mål for jordhelse.

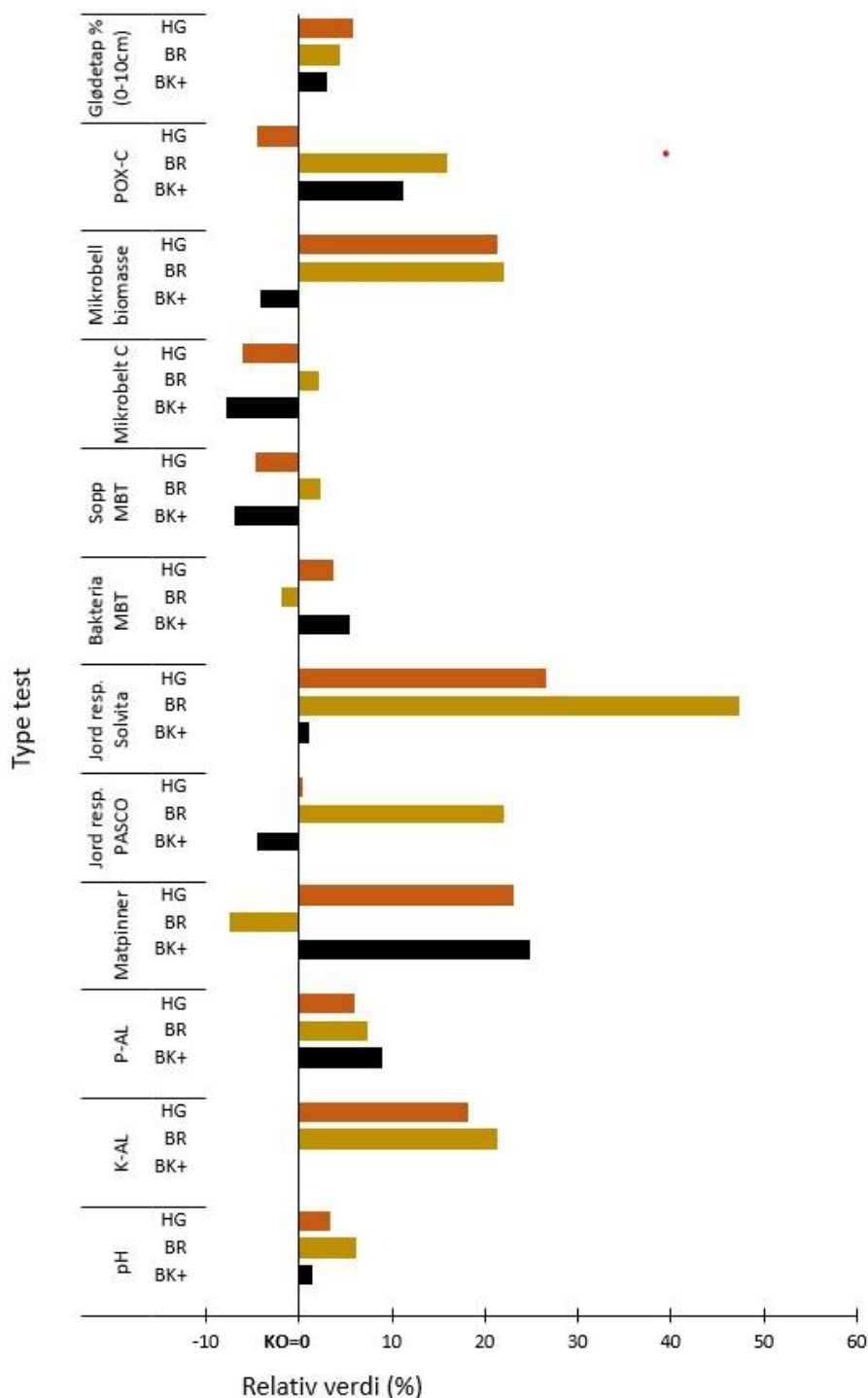
Slake appen tenker vi kanskje kunne blitt forbedret noe. Både ved å virke bedre, men også knyttet til noe om mengde jord som var aggregert, og ikke bare målt på enkeltaggregater. Det fordi det var tDette basert på at vi brukte lufttørkede jordaggregater direkte fra felt. Julseth Brown gjorde sine målinger på tørrsikta aggregater. Da får man i utgangspunktet flere aggregater som allerede har vært utsatt for risting, og dermed mest sannsynlig blitt mer stabile. En amerikansk studie på ulike typer tørrsikta aggregater fra leirjord fant imidlertid Slakes metoden brukbar og sensitiv nok til å skille mellom jord med vanlig pløying, mindre jordarbeiding (no till) og permanent grasmark uten jordarbeiding (Flynn mfl. 2020).

Vi fant ingen lavterskel jordtest for nitrogen og det tror vi kunne vært nyttig å ha i en «pakke» med jordhelsetester. Dette for å få å kunne si noe om total mengde nitrogen i jorda og dets tilgjengelighet. Dette fordi proteiner og nitrogen er viktig for både jordliv og plantevekst og gjenspeiler viktige deler av fruktbarheten i systemet. Nitrogen er også viktig faktor knyttet til gjødselstrategier, men også viktig for karbonlagring, og begge deler påvirker jordhelse, klima og miljø.

De utvalgte testene bør prøves ut videre i flere ulike jordarter og ulike produksjoner for å få flere norske resultater og mer kunnskap om deres potensiale som jordhelseindikatorer. Mer utprøving og forskning på dette vil også gi et større og bedre grunnlag for å anbefale et utvalg tester egnet til gardsbasert vurdering av jordhelse under norske forhold.

2.5 Flere testresultater samlet i en type figur

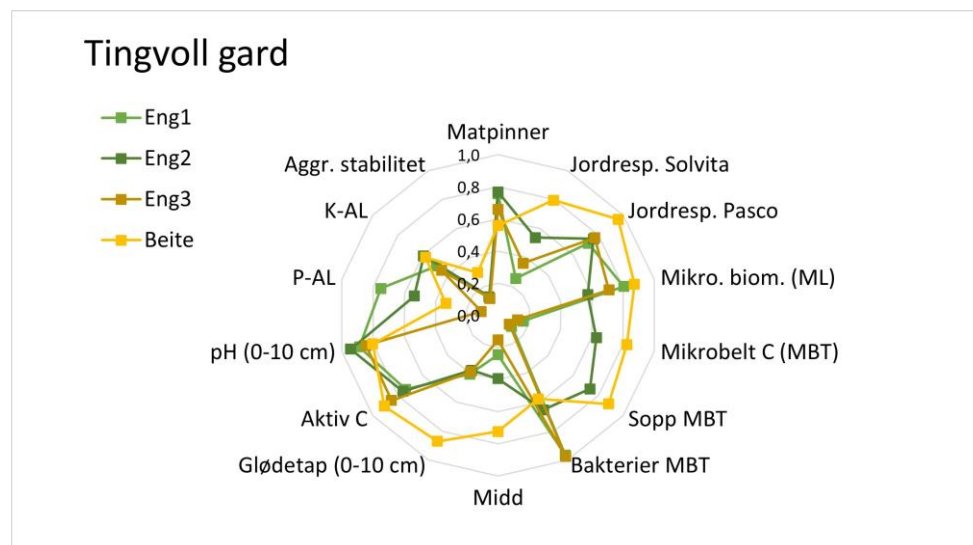
Når flere ulike metoder med ulike benevninger skal sammenliknes og brukes som indikatorer for jordhelse kan det gjøres på flere måter. I kap. 2.3 har vi sammenliknet resultatene fra hver av testene fra de to stedene og innad mellom de ulike behandlingene. Vi ønsker imidlertid også å **visualisere resultatene i noen felles figurer**, for å se om flere av de ulike indikatorene drar i sammen positive eller negative retning med hensyn til jordhelse. Dette kan vi gjøre ved å normalisere dataene ved å dividere enkeltverdier med observert maksverdi for hver jordhelseindikator. Det vi mister ved å gjøre dette er selve verdiene/nivåene på dataene, men det er også det som gjør at vi kan samle dem i en felles figur, i et jordhelsediagram. Vi anbefaler i tillegg å ha egne tabeller eller figurer med selve resultatene for de ulike testene. Vi foreslår to måter å visualisere slike mangfoldige resultater, en der vi har kontrollledd å sammenlikne med og en som kan brukes uavhengig av det.



Figur 12. Resultater av et utvalg jordhelseindikatorer i Potetfeltet. Snittverdiene i hver behandling er gjengitt som prosent av snittverdien i kontrollrutene (0 på nedre akse). Verdiene er relative i forhold til verdiene i KO. Feltet fikk tilført ulike typer OM to år før målingene ble gjort på jord fra feltet i 2021 i 0-10 cm dybde. HG: hestegjødsel med flis, BR: fast del av biorest, BK+: Biokull fra bartreflis tilsatt flytende del av biorest. Kontrollrutene (KO) fikk ikke tilsatt noe OM.

For å visualisere og se trender innad i systemene (garden og potetfeltet) foreslår vi derfor to varianter av et **jordhelsediagram**. Der man i en type diagram ser på endringer og/eller forskjeller for de ulike indikatorene fra referanseverdier (Fig. 12). Denne typen framstilling er mest aktuell når vi har feltforsøk med kontrollledd (referanseverdier), som settes til 0, og som de andre resultatene sammenliknes med. Resultatene er da enten positive eller negative sammenliknet med kontrollverdiene for de ulike indikatorene (Fig. 12).

En annen type er et **radardiagram**, som viser ulike resultatverdier relativt og i forhold til hverandre, og der 1 gjengir den høyest målte verdi for hver jordhelseindikator og system (Fig. 13 og Fig. 14).



Figur 13. Radardiagram av resultatene av ulike jordhelseindikatorer fra jord i 0-10 cm dyp under eng og beite ved Tingvoll gard i 2021. Punkter som er langt ute i sirkelen viser høyere verdier («bedre») enn lenger inn mot sentrum. Verdiene (gule, grønne og brune punkter/firkanter) er oppgitt som gjennomsnitt for hver behandling og for hver test/måling, som andel av høyeste verdien observert i datasettet (=1). Eng1 og Eng 2= 2.års eng, Eng3 = 4.års eng.



Figur 14. Radardiagram av resultatene av ulike jordhelseindikatorer fra jord i 0-10 cm dyp i potetfeltet i Sunndal i 2021. Punkter langt ute i sirkelen viser høyere verdier («bedre») enn lenger inn mot sentrum. Verdiene er oppgitt som gjennomsnitt for hver behandling og for hver test, som andel av høyeste verdien observert i datasettet (=1). HG: hestegjødsel med flis, BR: fast del av bioest, BK+: Biokull fra bartreflis tilsatt flytende del av bioest. Kontrollrutene (KO) ble ikke tilsatt OM.

Denne formen for visualisering fungerer best dersom det gir *bedre jordhelse* med *økte verdier* for en test eller indikator, eller at man kjenner godt til om det er best med høy eller lav verdi. For aggregatstabilitet (Fig. 13) har vi eksempelvis tatt den inverse av slake indeksverdiene (erosjonstest) for at resultatene av aggregatstabilitet, som de andre indikatorene, skal vise *bedre* stabilitet med *høyere* verdier. Ved å samle et utvalg indikatorer i et slikt diagram, vil vi i Fig. 13. kunne se at flere av indikatorene hadde høyere verdier i Beite og Eng2 enn i de to andre engene, derfor en noe bedre jordhelse i de to behandlingene. For potetfeltene var det mindre variasjon mellom de ulike behandlingene og kontrollfeltet (Fig. 14) og relativt lik jordhelse i de fire behandlingene.

3 Hva er igjen i jorda to år etter karbonboosting?

Det er både krav og ønsker om at jordbruket skal bidra til at *mer* karbon blir værende *lenger* i jorda, samt å finne målemetoder for dette. Jordbruksjord sin evne til å lagre karbon blir påvirket av jordas egenskaper, vanninnhold, lokalklima og jordbruksdrift. Karboninnholdet i jorda er en dynamisk likevekt bestemt av hvor mye som tilføres og hva som fjernes og forsvinner. Hvor mye vi greier å øke karbonlagringen bestemmes mye av hvor mye OM denne jorda som økosystem evner å holde på under gitte forhold over tid. For å øke karbonbeholdningen i jorda kan bonden enten øke tilførselen av OM eller redusere tapene av karbon, eller helst begge deler.

For å øke beholdningen av karbon (C) i jorda i et feltforsøk med konvensjonell tidligpotet, prøvde vi å «booste» jorda ved å tilføre ulike typer karbonrikt OM. Jordarten var finsand med 2,4 % OM som utgangspunkt. Vi målte og estimerte karbonbeholdningen i jorda to år etter tilførselen ved å estimere karbonfraksjoner fra det organiske materiale som var igjen i jorda og andel som gikk tapt fra jorda etter to års potetproduksjon. Alt er basert på jorddata.

3.1 Materiale og metode

Karbonboosting av potetjord

Et feltforsøk med tilførsel av ulike typer karbonrikt OM ble etablert i juli 2019, kort tid etter innhøsting av tidligpotet, hos en potetprodusent, i Sunndal kommune. Potetfeltet bestod av ruter med konvensjonell tidligpotet og tre gjentak av hver behandling. Rutevis ble det 10. juli 2019 tilført tre ulike typer OM som en «karbonboosting». Det ble tilført biokull (fra bartrær produsert av StandardBio ved 400°C) dynket i flytende del av biorest (fra Ecopro), kalt Biokull+ (BK+); fast del av biorest (BR) etter biogassproduksjon av ulike typer organisk avfall fra samfunnet (Ecopro 2 tørrgjødsel) og hestegjødsel (HG) med noe strø fra stall nær forsøksfeltet. Hele feltet ble harvet og pløyd etterpå. Det var med kontrollruter som ikke fikk tilført organisk gjødsel (Kontroll). Alle rutene fikk årlig i vekstsesongen en grunn gjødsling med mineralgjødsel (NPK) av typen YaraMila 12-4-18.

Målet var å tilføre så mye at det **tilsvarte 1,5 kg C i tørrstoff pr m² (1,5 tonn C/daa)**. Dette for å imøtekomme en anbefalt mengde biokull på 1,5-3,0 tonn/daa (Jeffery mfl. 2017). I tillegg å følge Gjødselvarselsforskriften, der en maksimal tillatt mengde med tørrstoff for Klasse I type OM er 4 tonn/daa over 10 år (Forskrift om organisk Gjødsel 2003). Basert på dette, lette vi etter verdier for C og tørrstoff i relevant litteratur og estimerte mengden C pr kg av de ulike organiske materialene vi brukte. I etterkant viste det seg at den faktiske mengden karbon som ble tilført fra de ulike organiske materialene i 2019, var 1,2 kg C/m² (BK+), 1,1 kg C/m² (HG) og 1,3 kg C/m² (BR). Dette var svært nært estimatene på 1,5 C kg/m² for så nye og lite undersøkte materialer. For mer om feltforsøket se Rittl mfl. 2022 eller Rittl mfl. 2023.

Jordanalyser

Det ble tatt jordanalyser fra potetfeltet før de ulike typene karbonrikt OM ble tilført, så igjen den 24. juli 2019 og i juli 2021 etter høsting av potet. Jordprøvene ble tatt ved å ta 12 stikk med jordprøvebor (0-20 cm dyp) i hver rute. Jorda fra disse ble blandet godt i en bønne, før en samleprøve ble lufttørket og sendt til Eurofins for analysering for AL-løselige næringsstoffer, glødetap og pH. Glødetap er brukt som mål for mengden OM i jord.

Estimater av karbonbeholdning i jord

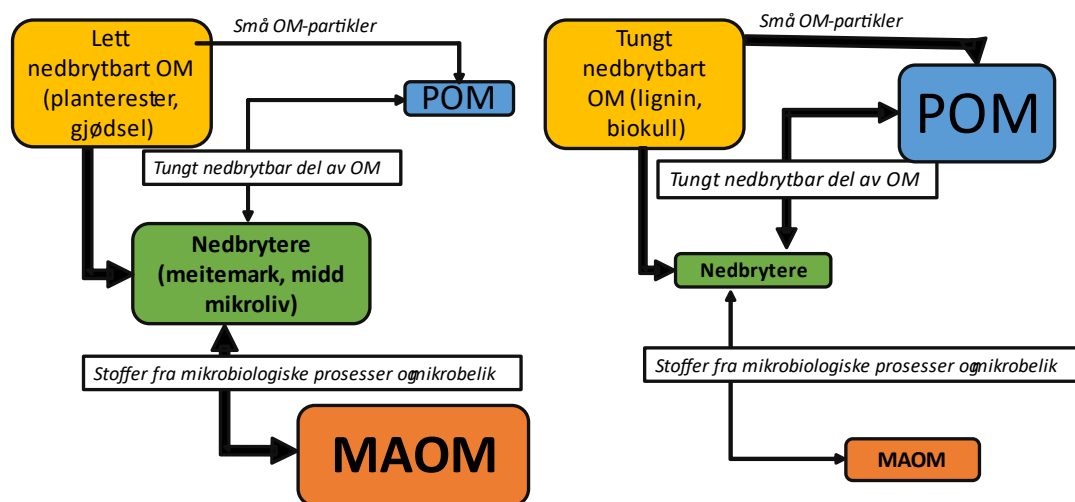
Vi brukte det Excel-basert verktøyet **Karbonkalkulator jord (Karbkalk jord)** til å estimere endringer i karbonbeholdningen (Karbonbanken) og for å estimere hvor mye karbon som ekstra ble lagret og/eller gikk tapt fra jorda i dette forsøksfeltet. Vi brukte Eurofins Norge sitt labestimat for

volumvekt jord (1,3 kg/l) som verdi for jordtetthet og deres analyser av glødetap som verdier for innhold av OM. For å beregne karboninnhold og mengder i jorda har vi brukt at 50 % av det OM i jordfraksjonen er karbon (C) (Pribyl 2010) og jordvolum målt i jordsjiktet 0-20 cm dybde.

Basert på resultatene vi fikk ved å legge dataene inn Karbonkalkulatoren, estimerte vi endringer som forskjeller i karbonbeholdningen mellom 2021 og 2019. Effekter av karbonboostingen ble beregnet som forskjellene mellom karbonbeholdningene i behandlingene og kontrollrutene i 2021. Karbonbeholdningen som er i bunnen som den naturlige/gjenværende karbonbeholdningen er beregnet fra glødetapsverdier (% GT) fra jordprøver KO i 2021.

Karbon i ulike jordfraksjoner

Hvor stabilt ulike typer OM og karbon fra dette er i jord krever egentlig landtidsstudier. En annen tilnærming er å sammenlikne fordelingen av to ulike OM-fraksjoner i jord, kalt **partikulært OM (POM)** og **mineral assosiert OM (MAOM)** (Lavallee mfl. 2019). Lagring av karbon i selve jordaggregatene (0-2 mm) i jorda, skjer i hovedsak i disse to fraksjonene også kalt to ulike karbonlager (C- pools). Disse skilles ved finsikting av jorda i to ulike størrelsesfraksjoner, POM er 53 mikrometer til 2 mm, mens MAOM < 53 mikrometer. Dette er to fundamentalt ulike karbonlagre i forhold til hvordan disse fraksjonene dannes, hvor stabile de er i jord og hvilke funksjoner de har i jorda (Fig. 15).



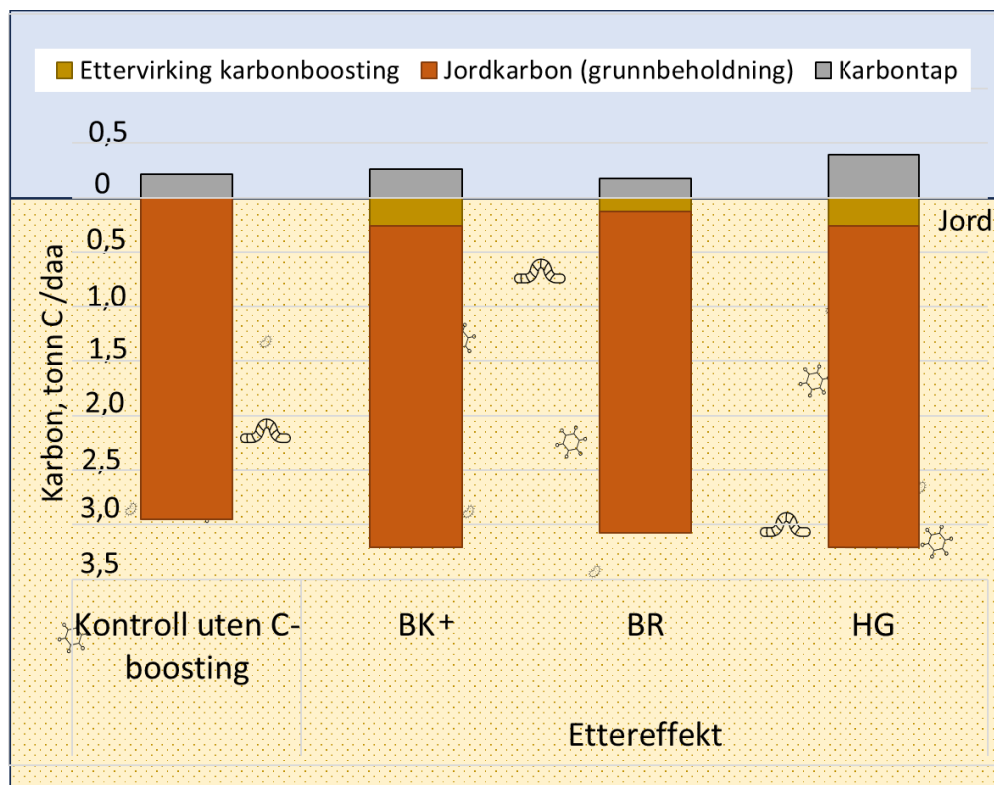
Figur 15. Lett nedbrytbart OM tilført jord bidrar mest til mikrobiell aktivitet og at det OM knyttes til mineralsk materiale i form av MAOM (mineralassosiert OM) og slik stabiliseres i jorda. Mens OM som er tungt nedbrytbart ikke går via mikrolivet på samme måte, men forblir stabilt i partikulær form (POM) og har mye mindre næringsverdi for jordlivet. Tykke piler betyr mest for det som skjer i de ulike boksene.

For å estimere potensiell oppholdstid (persistence) for ulike typer tilført organiske materiale i jord, utførte Rittl mfl. (2023) et inkubasjonsforsøk i laboratoriet uten planter og ved bruk av samme jord og de tre typene OM som var brukt i potetfeltet. Nedbrytingstiden til de ulike typene OM ble målt ved jordrespirasjon over to år. Dette ble brukt til å estimere hvor lenge de ulike OM potensielt ville vært i jorda (Rittl mfl. 2023).

3.2 Karbonbeholdningen i sandjord to år etter karbonboosting

Karbonbeholdning i matjordlaget

I figur 16 vises endringer i karbonbeholdningen i matjordlaget (0-20 cm), estimert i 2021, i jord som fikk en karbonboosting i 2019 tilsvarende 1,5 tonn C/daa og jord som ikke fikk tilført OM (kontroll). Grunnbeholdningen i kontrollområdet var 2,9 tonn C/daa (Fig. 16). I løpet av de to årene var tapet (grå søyledel) fra jorda i kontrollrutene i snitt 0,212 tonn C/daa og tapet fra rutene som fikk tilført ulike typer karbonrikt materiale 0,173 tonn C/daa der fast bioest var brukt (BR), 0,264 tonn C/daa der det var brukt biokull + flytende bioest (BK+) og 0,394 tonn/daa der det var tilført hestegjødsel med strø (tremateriale) (HG). Dette karbonet trenger ikke være tapt bare til luft, men kan også være forsvunnet fra jorda ved biologisk nedbryting av OM, erosjon m.m.



Figur 16. Estimerte forskjeller og endringer i karbonbeholdningene i jord med konvensjonell tidligpotet, finsand jord, i 2021, to år etter karbonboosting med ulike typer OM. De ulike OM var BK+= biokull + flytende del av bioest, BR = fast del av bioest, HG = Hestegjødsel m flis og en kontroll uten tilførsel. I grått vises netto karbontap i tonn/daa fra jord (0-20 cm dyp) i perioden 2019-2021. Mørkegult viser gjenværende bidrag fra de ulike typene OM som ble tilført. De oransje søylene viser hvor mye grunnbeholdningen av karbon var i jorda i 2021.

Den mørkegule delen av søylene viser hva som var «igjen» som karbonbidrag til karbonbeholdningen i jord fra de ulike behandlingene. BK+ og HG bidro med ca 0,260 tonn C/daa og fast bioest (BR) med 0,130 tonn C/daa til karbonbeholdningen i matjordlaget. Dette kan ses på som en mellomlagring av karbon fordi mye av dette vil etter hvert forsvinne ved drift og naturlig biologisk jordrespirasjon, mens en mindre andel vil potensielt bli værende over lengre tid som lagret karbon i jorda.

Ved å booste jorda en gang med karbonrikt OM, var det mulig å øke karbonbeholdningen med i snitt 0,216 tonn C/daa mellom 2019 og 2021. Mesteparten av det tilførte OM ble imidlertid mineralisert og tapt. Sammenliknet med kontrollrutene økte innholdet av OM med 7 % med BK+, 8 % med HG og 4 % med BR.

Karbonkretsløp i jordbruksjord

Det at karbon skifter oppholdssted, fra å være i jordliv, planterøtter og OM i jorda, til CO₂, er uunngåelig, men også ønskelig fordi omdanning av det organiske materiale er fordelaktig for næringsforsyning, jordkvalitet og jordhelse. Mineralisering av OM frigir næring til planter og jordorganismer, bidrar til aggregatdanning, samt øker jordas bufferegenskaper knyttet til vann- og næringshusholdning (Bongiorno mfl. 2019). I de samme prosessene, vil omdanning av OM slippe ut karbon i form av CO₂ til atmosfæren, noe som reduserer en langtidslagring av C i jorda.

De typene OM som vi brukte hadde ulik oppbygning og dermed ulik antatt nedbrytningshastighet. Biokull blandet med flytende biorest (BK+) hadde høyest innhold av totalt karbon 64 %, hestegjødsel med strø (HG) og fast biorest (BR) inneholdt ca 32 % Tot-C. Det var generelt mer av ulike plantenæringsstoffer i HG og BR sammenliknet med BK+, med unntak av nitrogen, der den flytende delen av bioresten medførte at BK+ inneholdt mye ammonium og nitrat. BK+ vil derfor ikke uten videre kunne sammenliknes med å tilsette rent biokull.

Hvordan karbon var bundet til de andre stoffene er ulikt i biokull+, fast biorest og hestegjødsel med strø, noe som også påvirker hvor biologisk tilgjengelig materialet blir i kontakt med jord og jordliv. Så selv om tilnærmet like mengder karbon blir tilført, er stabiliteten til karbonfraksjonene ulike mellom materialene, og materialene har dermed ulike potensialer til å øke karbonbeholdning i jorda på kort eller lang sikt. Høy karbonstabilitet (biologisk stabilitet og fysisk beskyttet fra jordlivet) er nøkkelfaktor for å få mer karbon til å vare i lengre tid i jorda (karbonlagring >100 år). Hvor lenge det blir i jorda bestemmes av hvilket OM karbonet stammer fra, om tilførselen er jevnlig eller sjelden, samt både fysiske, kjemiske og biologiske prosesser i jorda (Schmidt mfl. 2011).

3.3 Karbonets stabilitet i jord

Karbon i ulike jordfraksjoner

For økt langtidslagring av karbon i jord, er det et mål å øke andelen av karbon i MAOM-fraksjonen i jorda. I **MAOM** er karbonet bundet i OM som igjen er bundet til jord og leirmineraler, og karbonet er derfor fysisk mer skjermet fra jordlivet. Eksempler på stoffer som man mener akkumulere seg som MAOM er biprodukter fra biologisk nedbryting inkludert deler av meitemarkskitt og karbon fra døde mikroorganismer (Liang mfl. 2019, Vidal mfl. 2023).

Det mer løstliggende **partikulære organiske materialet (POM)**, er ulike typer organiske rester som jordlivet enda ikke har klart å nyttiggjøre seg (tungt nedbrytbart) og ulike typer OM som jevnlig kommer til i form av nye døde rotrester, mikroorganismer og husdyrgjødsel. POM antar man blir brukt først av jordlivet fordi de ligger lettere tilgjengelig i jorda. Karbon i POM ligger på «matbordet» til jordlivet, mens karbon i MAOM er vanskeligere tilgjengelig for jordlivet, men da også mer lagringsstabil. Biokull blir ofte først funnet i POM og etter en viss tid også i MAOM fraksjonen, men vil i seg selv gi lite energi og næring til jordlivet (se også Fig. 16).

Vi undersøkte forholdet mellom disse to karbonfraksjonene (MAOM og POM) i forsøksfeltet med potet i 2021, for å se om det var forskjell på hvor «stabil» det tilførte organiske materialet kan være i jorda på lengre sikt.

Hovedresultatene var at to år etter tilførsel av karbonrikt OM, var det akkumulert litt mer C som **MAOM** der det var tilført hestegjødsel (1,20 %), enn der jorda var tilført BR og BK+ (Tab. 5). Jorda som fikk tilført BK+ hadde mer OM i **POM** fraksjon (0,31 %) enn de andre tre behandlingene. Det var imidlertid liten andel av både POM og MAOM i alle behandlingene og ingen statistisk sikre forskjeller mellom behandlingene, hverken for innholdet av POM eller MAOM.

Tabell 5. Gjennomsnittsverdier for mengde OM (GT %, 0-20 cm) og to ulike karbonfraksjoner i jordprøver (9-20 cm) i 2021, fra ruter som fikk «karbonboosting» av ulike typer OM i 2019, antall gjentak for hver behandling er 6. POM = partikulært assosiert OM og MAOM = mineral assosiert OM.

Behandling	Glødetap %	POM %	MAOM %
Kontroll	2,27	0,23	1,13
Biokull + flytende biorest (BK+)	2,47	0,31	1,13
Hestegjødsel i flisstrø (HG)	2,47	0,25	1,20
Fast del av biorest (BR)	2,37	0,19	1,16
<i>p-verdier</i>	<i>0,334</i>	<i>0,640</i>	<i>0,670</i>

Noe av grunnen til at jord tilført BK+ potensielt har mer POM kan skyldes produksjonsmåten av biokull. Biokullet ble laget ved pyrolyse av treflis ved 400 °C og biokullet bestod dermed av mye stabile og lite biologisk attraktive karbonforbindelse. For at sopp, bakterier og annet jordliv skal bryte ned disse stabile variantene av karbon må de investere mye energi og de velger heller å spise på noe annet. Dermed forblir mye av tilført biokull som POM og over lengre tid enn mer næringsrike og lettere nedbrytbare karbonforbindelser som er mer attraktive for jordlivet.

Biokjemisk stabilitet av OM

Biokull blandet med flytende del av biorest var lengst i jorda i et toårig laboratorieforsøk. BK+ ble estimert til potensielt å kunne være maksimalt 32 år i jorda, hestegjødsel med strø 8 år og fast biorest 3 år. Disse resultatene støtter det faktum at biokull oppholder seg lengre og er mer stabilt i jord enn fast del av biorest og hestegjødsel (Rittl mfl. 2023).

Forsøket kan imidlertid ikke brukes direkte til å si hvor lenge biokull eller annet OM vil være i jordbruksjord i praksis og med ulike kulturvekster. Dette fordi i en jordbruksjord i drift, vil plantevekst og annet jordliv påvirke mineraliseringen av organisk materiale og fordelingen av karbon i MAOM og POM, og ikke bare temperatur, fuktighet og mikrobiologi som er de viktigste faktorene i labforsøk. Karbontap grunnet jordarbeiding, erosjon og utvasking var heller ikke tatt med. Derfor forventer vi en kortere oppholdstid og mindre karbonlagring i virkeligheten enn det labforsøket indikerte for både biokull og de ulike typene OM.

4 Effekter av 30 år med eng på jordkarbon

Flerårig gras-kløvereng i vekstskiftet er sett på som mer positivt for karbonbinding i jord og som tiltak for å forbedre jordhelsen enn korn og ettårige vekster med tilhørende jordarbeiding. Det finnes noen internasjonale langtidsstudier av effekter av gras-kløvereng på karbonlagring i jord, men få norske. Slike målinger over tid er sterkt ønsket for karbonmodelleringsstudier og for livsløpsanalyser. Videre også viktige som grunnlag for politiske og samfunnsmessige beslutninger og krav knyttet til å bremse klimaendringer og øke karbonlagring i jordbruksjord.

Her presenterer og diskuterer vi endringer i innholdet av OM og karbon i jordbruksjord, basert på data fra ulike skifter fra en melkeproduksjonsgård på over en 30 års periode.

4.1 Materiale og metode

Uttak av jordprøver og jordanalyser

Fra ca 65 kartfesta prøvepunkter på 17 ulike skifter på Tingvoll gard (garden) tas det jevnlig jordprøver som analyseres for kjemisk innhold og glødetap. Det er tatt jordprøver i 1990, 1995, 2003, 2009, 2015 og 2021. Innen en sirkel med diameter på 11-12 m og prøvepunktet i midten ble det tatt 10 stikk med jord ved bruk av jordbor. Samlet i hele datasettet 1990-2021 er det flest prøver fra 0-20 cm dyp, men også en del prøver fra 20-40 cm. Jorda fra de to dypene ble holdt adskilt. Volumvekt (lab), jordart (vurdering), leirklasse (vurdering), mold % og glødetap % (analysert) av tørr jord ble registrert. I en del av analysene og beregningene er alle tilgjengelige data tatt med, mens i andre er utvalget mindre da vi ønsket data fra alle punkter alle år.

Klasser av mengde OM i jord

Glødetap er et estimat på innholdet av OM i siktet jord. Vi grupperte resultatene for glødetap for hvert måle år i fire klasser, se Tabell 6. Gruppene er basert på hvor mye OM som i snitt var på skiftene i 0-20 cm dyp da prøvetakingen startet, kalt utgangsnivå av OM. For klassen *lavt* har vi startverdier fra 2015. Grupperingen følger klassifiseringen av glødetapsklasser hos Riley (2006) som er basert på norsk jordbruksjord.

Tabell 6. Inndeling av jordbruksjord etter innhold av OM (glødetap %) basert på klassifisering av norsk jord. Disse klassene er også brukt for å gruppere jordprøvene fra Tingvoll gard.

Klasse (innhold av OM)	Glødetap (%)
Lavt	< 4.5
Middels	4.5-6
Høyt	6-12
Veldig høyt	>12

Estimater av karbonmengder i jorda (KarbKalk jord)

Karbonkalkulator for jord (KarbKalk jord) er et formelbasert Excel-verktøy for å estimere mengde organisk karbon i jordbruksjord (bit.ly/karbonkalkulator). På bakgrunn av jordanalyser, kan man estimere innholdet av karbon som stammer fra OM ned til et valgt jorddyp. Data som brukes som mål på mengde OM i jorda er glødetapet (i % TS) eller moldinnholdet (i % TS), sammen med volumvekt (kg/l lufttørket siktet jord). Vi har brukt glødetapsverdiene som mål på mengde OM (OM)

for alle beregningene vi har gjort i dette kapitlet. Videre er det brukt som forutsetning at 50 % av det organiske materialet (OM) er karbon (Pribyl, 2010). Mer informasjon om karbonkalkulatoren finnes på Agropub (<https://www.agropub.no/fagartikler/kalkulator-for-karbonmengde-i-jorda>).

Vi har valgt å estimere tap/økning i karbon i jorda, basert på glødetapsverdiene (% GT) fra 1990 sammenliknet med verdiene i 2021 for 16 skifter ved Tingvoll gard. 13 skifter var fulldyrka og tre skifter var permanente beiter.

Karbonlagring over tid (C-TOOL-modellen)

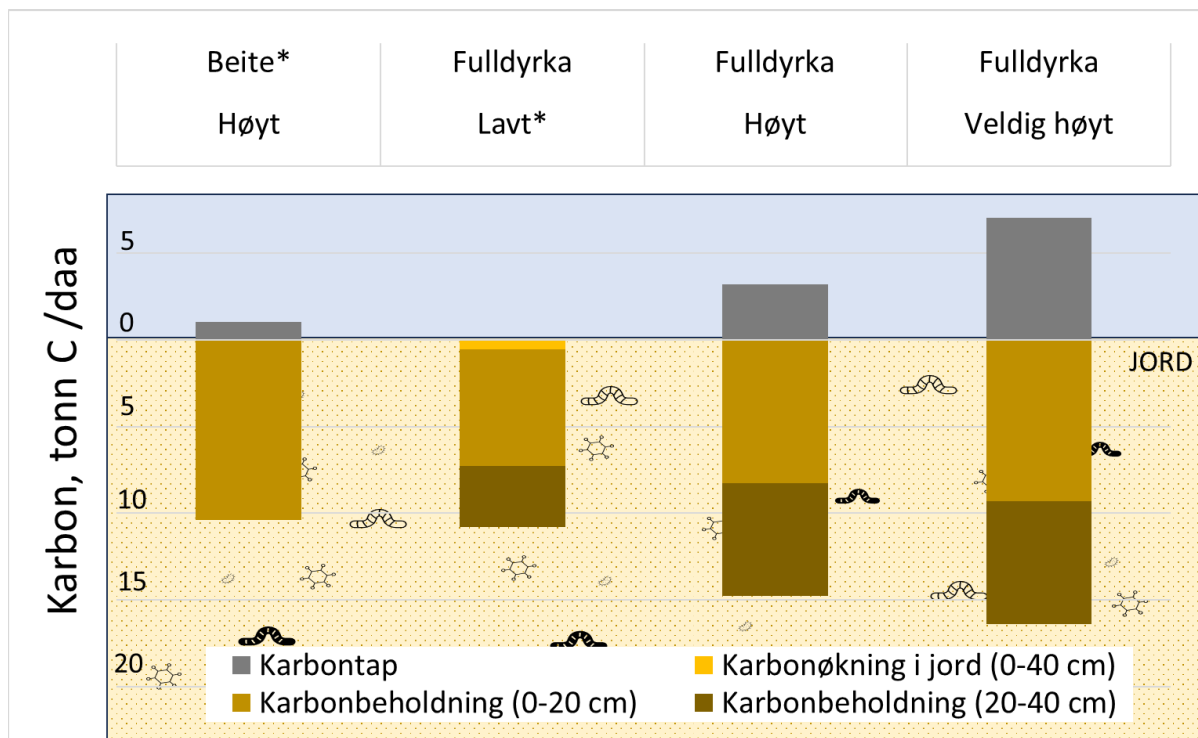
SEGES, dansk landbruksrådgivningsfirma, har utarbeidet et Excelbasert verktøy som simulerer utviklingen av karbon i jord fremover i tid basert på ulike data som kan samles inn fra gardsdrifta. Verktøyet C-TOOL bruker jordart/leirinnhold, et startinnhold av OM, hva som dyrkes i vekstskiftet, hvor mye organisk gjødsel som tilføres m.m. for å simulere utviklingen av karboninnholdet over tid (Taghizadeh-Toosi mfl. 2014). Vi har brukt relevante data fra Tingvoll gard til å gjøre simuleringer, samt sammenliknet dette med de reelle målingene vi hadde fra 30 års perioden. Vekstskiftene vi brukte i C-TOOL var et omløp med ett år med bygg til grønnfor, ett år med havre som dekkvekst og eng som gjenlegg, 5 års graskløver, så et omløp med bare ett år med gjenlegg av gras-kløvereng i korn før 5 års eng. Disse ble så gjentatt. Humus i C-TOOL modellen tilsvarer glødetap i våre norske målinger og er estimat for innholdet av OM i tørr siktet jord. Modellen beregner innholdet i 0-25 cm, mens vi har målinger for 0-20 cm jorddyb. 50 % av begge OM/humus-verdiene har vi antatt er karbon (Pribyl 2010).

4.2 Målte endringer i karboninnholdet fra 1990-2021

Karbonbeholdning i matjordlaget

Det er en relativt høy grunnbeholdning av karbon i jorda på Tingvoll gard. Vi grupperte resultatene fra fylldyrka areal og permanente beiter hver for seg.

Det var noe mer karbon i matjordlaget i beiten i 0-20 cm dyp enn i samme dyp for engene på fulldyrka arealer (Fig. 17). I de fulldyrka skiftene der vi hadde data fra to jorddyb, var det mest jordkarbon i matjordlaget, men også et betydelig innhold i 20-40 cm dyp. Karbonbeholdningene i de fulldyrka skiftene varierte fra 6,7 til 9,3 tonn C/daa i matjordlaget og fra 3,5 til 7,1 tonn C/daa i jordlaget på 20-40 cm dyp (Fig. 17). Karbonbeholdningen i de permanente beiten ble estimert til 10,4 tonn C/daa ned til 20 cm dyp. Det er også karbon dypere ned i jorda, men dette er ikke målt.



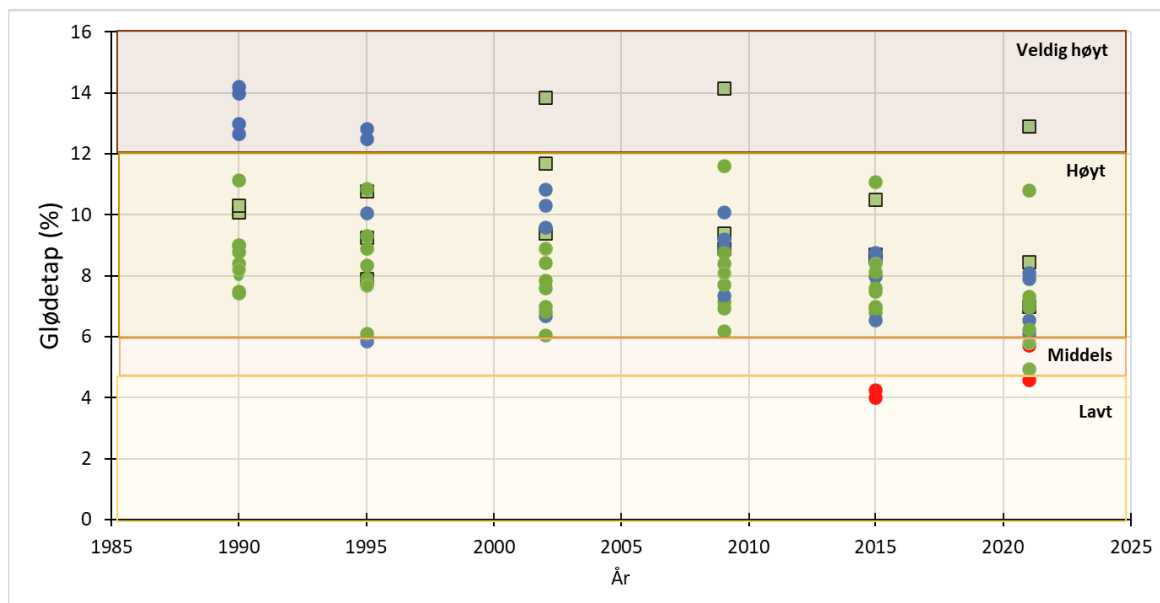
Figur 17. Estimerte endringer i karbonbeholdningen i jorda (basert på jordprøver) fra beite og fulldyrka skifter gruppert etter hvor mye OM (Glødetap %) skiftene hadde ved start (1990) og til slutten av måleperioden 2021. Søylen viser endringer i karbonbeholdningene i jorda i tidsperioden, gruppert i klassene Veldig høyt (>12%), høyt (6-12%) og lavt (<4.5%) på bakgrunn av startinnhold av OM. Resultater fra ett beite i 0-20 cm dyp og tre grupper med fulldyrka graskløver eng, delt på to dyp 0-20 og 20-40 cm. * Beite jord 0-20 cm og *Lavt, hadde bare data fra 1995-2021.

Karbontapet i perioden varierte fra 1 tonn C/daa i beitenene til 7,1 tonn/daa (0-20 cm) i de fulldyrka skiftene med veldig høyt startinnhold av OM i 1990 (Fig. 17). I de fulldyrka skiftene med lavt utgangsnivå av OM og karbon fra 2015, var det en liten økning i karbonbeholdningen tilsvarende 0,6 tonn C/daa til 2021. Alle estimerer er gjort fra jorddata. Vi kan dermed ikke si at tapte karbon (grå søyler) er gått bare til luft, men også til biologisk aktivitet og mineralisering, samt tap ved nedvasking og erosjon.

Endringer i karbonbeholdningen

Innholdet av OM i matjordlaget på Tingvoll gard har avtatt i løpet av 30-års perioden (Fig. 18). Nedgangen var større på fulldyrka skifter i klassen med *veldig høyt* utgangsnivå av OM i jorda sammenliknet med de fulldyrka skiftene som hadde *høyt* startinnhold. I snitt gikk innholdet av OM i jorda ned fra henholdsvis 14 % og 7,9 % i 1990 til 7,4 og 6,4 i 2021 i matjordlaget.

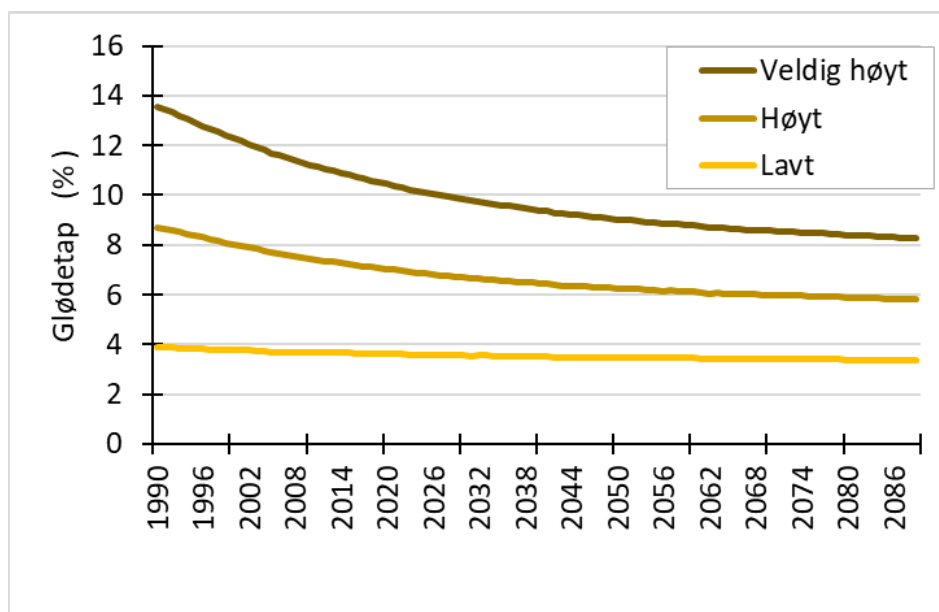
I jorda på de permanente beitenene, som ikke ble pløyd og som hadde gjødsling bare fra beitedyra, gikk innholdet av OM ned fra 10,2 % i 1990 til 8 % i 2021. To nydyrka arealer i 2015 med *lavt* utgangsnivå av OM, var de eneste skiftene som viste en positiv trend, med økning i innholdet av OM, men få data gjør dette usikkert.



Figur 18. Oversikt over endringer i innholdet av OM i jord (GT%) i fulldyrka skifter (sirkler) og på beiter (firkanter) ved Tingvoll gard gjennom 31 år. Fargen på symbolene knyttes til hvor mye OM det ble målt i jorda ved starten i 1990, delt i klasser med blå farge for veldig høyt startinnhold (>12%) av OM, grønne for høyt (6-12%), ingen punkter for middels (4,5-6%) og rød farge på punkter med lavt (<4,5%) innhold i starten.

4.3 Simulerte karbonendringer over tid

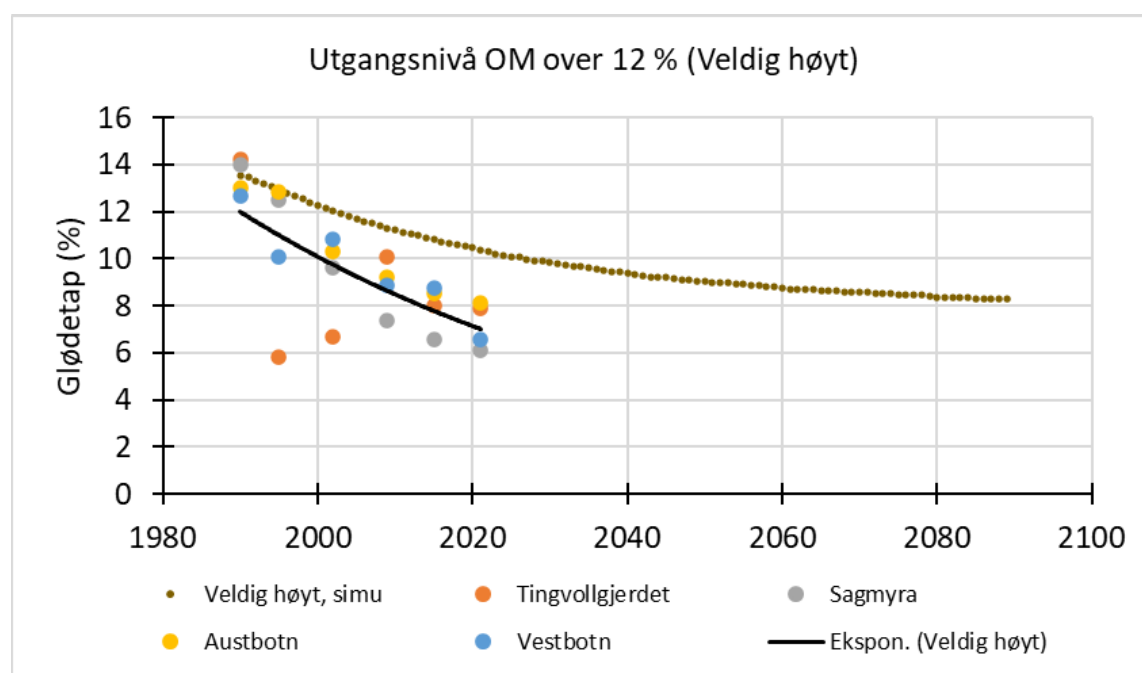
Vi brukte SEGES sitt C-TOOL program for å **simulere endringer av innhold av OM og karbon i jorda ved Tingvoll gard i et 100 års perspektiv**. Vi simulerte endringer over lang tid for jord med startinnhold på veldig høyt (14%), høyt (9%) og lavt (4%) innhold av OM (glødetap). Dette for å samsvare med gruppering av skiftene fra Tingvoll gard på (Tab. 6 og Fig. 18).



Figur 19. Simulerte endringer i C-TOOL for innhold av OM (Glødetap %) og karbon i jorda på Tingvoll gard over en 100-års periode. I modellen ble henholdsvis startnivå på 14 %, 9 % og 4 % OM brukt og data fra gårdsdrifta.

Resultatene av simuleringen viste at jo høyere startinnholdet av OM og karbon er, desto større er nedgangen/tapet av jordkarbon de første tiårene (Fig. 19). Sett over lang tid, 100 år, estimeres det at innholdet av OM i jorda stabiliserer seg på ca. 8,3 % for arealer som i utgangspunktet hadde *veldig mye* OM i jorda, på ca. 5,8 % for arealer med *høyt* startinnhold og på ca. 3,7 % for jord med lavt innhold av OM i starten.

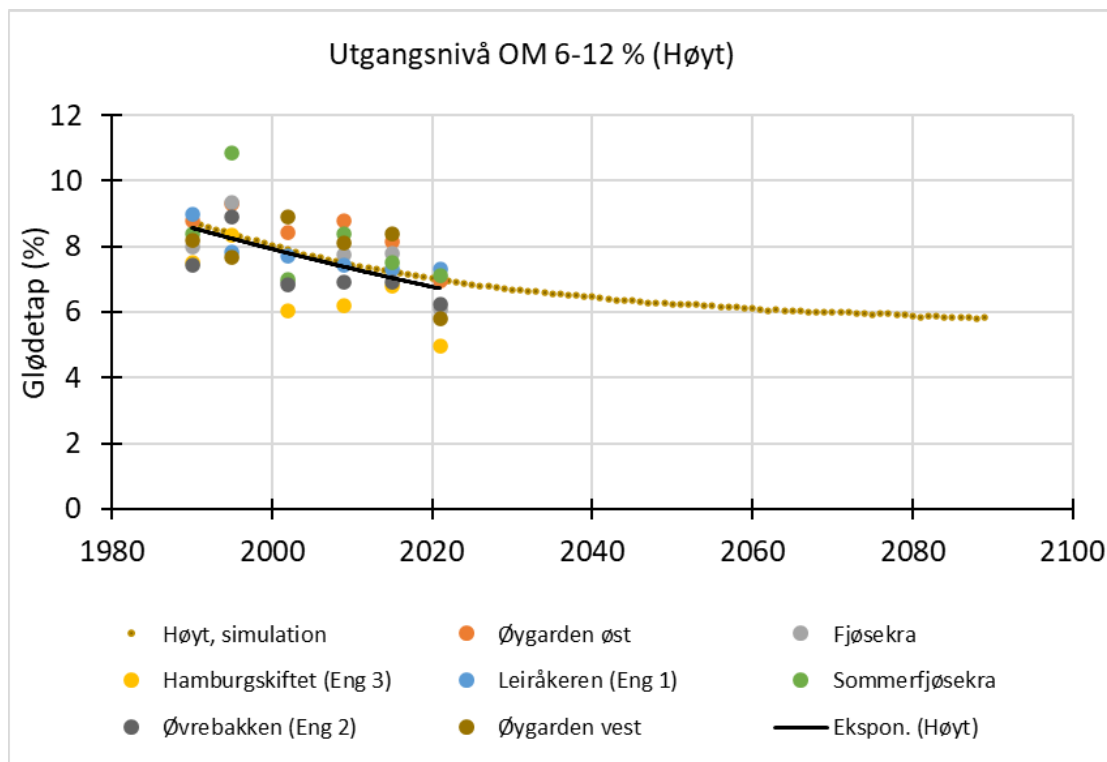
For å se hvordan de simulerte resultatene stemte med de målte dataene som vi hadde, kombinerte vi noen av de simulerte dataene med målte data. Vi satte sammen resultater på målte endringer i OM fra fulldyrka skifter fra 1990 til 2021 i 0-20 cm dyp med simulerte verdier som er for jorddyb 0-25 cm. Vi hadde bare nok data til å gjøre dette for fulldyrka engarealer med *veldig høyt* (Fig. 20) og *høyt* (Fig. 21) utgangsnivå av OM. For jorda med lavt startnivå, hadde vi ikke nok målte data til å gjøre noen sammenlikning.



Figur 20. Sammenlikning av målte verdier og simulert endring over tid av innholdet av OM i jord med veldig høyt startinnhold av OM. Målte verdier av OM ($GT\% > 12\%$ ved start i 1990) i jorda fra ulike fylldyrka engskifter (ulike farger og skiftenavn) på Tingvoll gard gjennom 30 år. Den svarte linja viser kurven for de målte verdiene. Simulert kurve vises som brun stiple line og modellerer med startinnhold av OM på 14 %.

I Fig. 20. vises den simulerte kurven (stiplet linje) for jord med *veldig høyt startnivå av OM* (14 %) sammen med de målte verdiene fra skifter med startnivåer over 12 % OM. De målte verdiene (ulike farga prikker) og den tilhørende svarte linja har brattere nedgang enn den simulerte kurven. Dette viser at simuleringen underestimerer nedgangen i OM/karbon i områdene med *veldig høyt* startinnhold av OM. Det er høyere reell nedgang enn den som ble simulert.

Fig. 21. viser tilsvarende simulert kurve for jord med *høyt* (9%) startinnhold av OM sammen med målinger fra skifter på garden med 6-12 % OM i utgangspunktet. De målte verdiene ligger jevnt langs den simulerte kurven. Det er veldig godt samsvar mellom målte og simulerte verdier for endring i jordkarbon i denne klassen med *høyt* startinnhold av OM.



Figur 16. Sammenlikning av målte verdier og simulert endring over tid av innholdet av OM i jord med høyt startinnhold av OM. Målte verdier av OM (6-12 % GT) i jorda, fra starten, i ulike fylldyrka engskifter (ulike farger og skiftenavn) på Tingvoll gard gjennom 30 år. Den svarte linja viser snittkurve for de målte verdiene. Simulert kurve vises som brun stiplet line med startinnhold av OM på 9 %.

Det at de målte verdiene fra utgangsnivåene av *veldig høyt* OM ikke stemte like godt med de simulerte verdiene for de samme OM-klassene er viktig informasjon. Det underbygger det faktum at den danske simuleringsmodellen (C-TOOL) er utviklet for å gjelde jord med opp mot ca 10 % OM og ikke for jord med høyere innhold. Dette viser også at innholdet av OM mest sannsynlig synker raskere i jord med et veldig høyt innhold enn i jord med lavere innhold av OM under samme driftssystem og i samme klima og jordart.

Større nedgang i jordkarbon ved høye startnivåer

Resultatene tyder på at fylldyrka jordbruksjord med mye eng er mer utsatt for karbontap enn permanente beiter, men at det er nedgang over tid i begge systemene. Det ser ut til å være større tap av karbon fra arealer med høyt innhold av OM i forhold til arealer med moderat og lavt startinnhold. Fulldyrka arealer med lavt innhold av OM viste en viss økning i karboninnhold, men vi har bare to skifter og 6 år med data for de skiftene, så tallene er usikre. Vi fant også en god del karbon under matjordlaget, i dypet 20-40 cm i våre målinger. Dette ble bare undersøkt på fulldyrka skifter og ikke under beitene.

Tap av karbon er også funnet i andre studier

Resultatene våre samsvarer med andre langtidsstudier i tilsvarende kjølige klima som Norge. Ved Tingvoll gard observerte vi en nedgang på 11 og 24 kg C/daa per år i de fulldyrka skiftene med henholdsvis veldig høyt og høyt startinnhold av OM og en økning på 26 kg C/daa i året i skiftene med lavt utgangsinhold.

Bolinder mfl. (2010) undersøkte effekter av ulik driftspraksis på karbonbeholdningen i tre ulike langtidsforsøk med ulik grovforandel i vekstskiftene nord i Sverige. I deres arealer med høyest

startinnhold av karbon (12 kg C/daa), minket karbonbeholdningen over en 30 års periode med mellom 11 til 95 kg C/daa per år. På arealer med lavt startinnhold (82 tonn ha⁻¹ at 0–25 cm) økte karbonbeholdningen i jorda med 12 kg C/daa og år, regnet over en 50 årsperiode med kontinuerlige gras/beite produksjon ved bruk av husdyrgjødsel.

Keel mfl. (2019) som brukte sveitsiske data fra 11 ulike langtidsforsøk (>10 år) med ulike produksjoner og driftssystemer, estimerte en årlig nedgang på mellom 29 og 40 kg C/daa per år. Riley mfl. (2022) fant også nedgang i beholdningen av jordkarbon i 0-30 cm dyp fra 1988 til 2016. Det var større nedgang i et konvensjonelt åkersystem med høstpløying og bare bruk av mineralgjødsel og i et økologisk åkersystem uten mineralgjødsel og minimalt med organisk gjødsel, enn i økologisk og konvensjonelle vekstskifter med minst 50 % eng i vekstskiftet og husdyrgjødselbruk.

Årsaker til nedgang

Det er flere faktorer som har påvirket innholdet av OM i jorda på Tingvoll gard de siste 30 årene. Uttaket og tap av karbon har vært større en tilførsel og innlagring i jorda. Høsting av avlinger står for hoveduttaket av karbon. Drenering og jevnlig fornying av eng i jord som i utgangspunktet har mye OM, bidrar til økt mineralisering og høyere avlinger, men også til tap av karbon.

I perioden fra 1990 da målingene av OM startet og fram til nå, har det vært økt omdanning og nedbryting av OM også grunnet pløying ca hvert 5.år på mange skifter, i tillegg til mer drenering. Mer lufttilgang og lettere tilgang til det organiske materiale for jordlivet, har bidratt til karbonbruk, men også økning i avlinger ved jevnlig nyetablering av eng. En liten økning i lufttemperaturen i perioden kan også ha påvirket nedbrytingen av OM og frigjøring av karbon fra jorda. Det å lagre karbon i jord er mye mer komplekst enn bare å tilføre karbonrikt materiale til jordbruksjord, i hovedsak fordi næringsrike og energirike forbindelser i OM også brukes for å gi god næringsforsyning til planter, danne biologisk jordstruktur og for god jordhelse. Videre at tross i kjente fordeler av flerårig gras og tilførsel av husdyrgjødsel, virker det kreve over tid å opprettholde eller øke innholdet av jordkarbon i norsk jordbruksjord.

5 Oppsummering resultater

De fleste jordhelsetestene viste forskjeller mellom engsystemet og potetsystemet, og da med høyere verdier i engsystemet. Det var imidlertid få forskjeller innad mellom behandlinger og arealer innad i systemene. Beite viste tendens til bedre jordhelse enn eng av ulik alder, med statistisk sikre forskjeller med høyere verdier for mikrobiell aktivitet (respirasjon), innhold av OM og for mengde mikroorganismer i en av testene i beite sammenliknet med i engene. Innad i potetfeltet var det få og små forskjeller mellom de ulike behandlingene, og ingen av testene viste statistisk sikre forskjeller.

Jordhelsetestene viste forskjeller mellom engsystemet og potetsystemet, men ingen av dem var sensitive nok til å kunne anbefales som den optimale jordhelseindikatoren alene. Ved å samle resultatene i et jordhelsediagram basert på normalverdier av hver test, kan man visualisere resultatene fra hvert punkt/skifte i forhold til hverandre. Man får da en indikasjon på om endringene går til det bedre eller ikke mht. jordhelse, før og etter et eventuelt tiltak i drifta, mellom ulike behandlinger eller mellom ulike skifter.

Ettereffekter av å tilføre ulike typer OM ble undersøkt i tidligpotet. Det ble tilført hestegjødsel (HG), fast del av biorest (BR) og biokull blandet med flytende del av biorest (BR+) for å undersøke om «karbonboosting» kunne være et godt tiltak for å binde karbon i jorda. I snitt var det 4-8 % høyere innhold av OM (GT%) der det to år tidligere ble tilført BR, HG og BK+, enn i kontrollrutene. Litt mer av OM fra HG ble funnet igjen som MAOM (bundet til leirmineraler) i jorda enn etter tilførsel av de andre typene OM. Mest karbon som POM (partikulært OM) ble funnet der det var tilsatt BK+. BK+ ble estimert som mer stabilt over tid i jord basert på laboratorieforsøk i jord uten planter, sammenliknet med de andre typene OM.

Ved å bruke skiftevis målte verdier fra jordanalyser, ble karbonbanken i et 20 cm tykt jordlag estimert (KarbKalk jord). Innholdet var lavest i potetfeltet, med estimer på 2,9 tonn- 3,3 tonn C/daa, middels i engene, med 4,7-9,9 tonn C/daa og høyest i permanente beiter med 11,9-14,4 tonn C/daa. Det var i tillegg betydelige mengder karbon i jordprøvene tatt fra 20-40 cm dyp, bare målt i engarealene.

Vi sammenliknet målte og simulerte jorddata for å si noe om endringer i jordkarbon på en melkeproduksjonsgard over tid. Jorddata fra ulike skifter på garden viser generelt et høyt innhold av OM i jorda, i snitt 7 % i 2021. Videre viste resultatene at beholdningen av OM og karbon i matjordlaget (0-20 cm) avtok over en 30 årsperiode på de fleste skiftene. Simuleringer gjort i C-Tools modellen for karbonendring i mineraljord over en 100 års periode, stemte bra overens med de målte verdiene for skifter der utgangsmengden OM i jorda var 12 % (GT%) og lavere. For skifter med over > 12 % OM ved prøvetakingsstart, var det ikke så bra samsvar. De målte verdiene viser en raskere nedgang i innholdet av OM og karbon enn de simulerte endringene i C-Tools.

6 Konklusjon

De fleste testene viste forskjeller mellom engsystemet og potetsystemet, men ingen av dem var sensitive nok til å kunne anbefales som den optimale jordhelseindikatoren alene. Dette fordi de fleste testene viste små og få forskjeller innad i engsystemet og innad i potetsystemet. Vi anbefaler derfor å bruke flere tester samlet på samme sted/skifte. I mangel av både internasjonale og norske referanseverdier for de ulike testene, for både *god* eller *dårlig* jordhelse, samt at ikke alle indikatorer har en lineær sammenheng mellom høy verdi og *bedre* jordhelse, bør testene tolkes med forsiktighet og samlet. Ved å se resultatene samlet i et «radardiagram» eller liknende, kan man se om flere av indikatorene viser samme trender. Det anbefales også å grave i jorda og vurdere forholdene visuelt og sensorisk, samt å bruke kjemiske jordanalyser. Vi trenger flere norske data for de ulike jordhelsetestene for å kunne tolke resultatene bedre, og på sikt opparbeide norske referansenivåer for ulike jordarter og produksjoner. Det vil gi et større og bedre grunnlag for å anbefale et utvalg tester egnet til gardsbasert vurdering av jordhelse under norske forhold.

Det er stor interesse for både tiltak og drift som kan opprettholde og helst øke innholdet og lagring av karbon i jordbruksjord. To år etter tilførsel av betydelige mengder OM, var det i snitt 4-8 % høyere innholdet av OM (GT%) der det ble tilført fast biorest, hestegjødsel eller biokull blandet med flytende biorest, enn i kontrollrutene. I laboratorieforsøk ble biokull tilsatt flytende biorest estimert som mer stabilt over tid i jord i forhold til de andre tre typene OM. Resultatene viser at tilførsel av ulike typer OM kan bidra til mer karbon i jord og at stabiliteten og dynamikken til ulike organiske materialer er noe ulike. Hvor mye dette bidrar til *lagring* av karbon (over 100 år i jorda) er imidlertid usikkert.

Ved å bruke jordanalyser for innhold av OM ble karbonbanken i et 20 cm tykt jordlag estimert til å være lavest i potetjorda, etterfulgt av engene og høyest i beite. Dette viser at norske bønder forvalter store mengder OM og karbon i sine produksjonsjorder. Innholdet gjenspeiler imidlertid både historiske forhold knyttet til jordart og klima, i tillegg til effekter av jordbruksdrift.

Jordanalyser fra kartfestede punkter på ulike fullldyrka skifter på melkeproduksjonsbruket viser generelt et relativt høyt innhold av OM i jorda, med 7 % i snitt for i 2021. Over tid gikk karboninnholdet i jorda ned på de aller fleste skiftene på garden i løpet av de 30 årene det var målte jorddata fra. Det var noe raskere nedgang der jorda i utgangspunktet hadde over 12 % OM i starten av målingene sammenliknet med skifter som hadde 6-12 % OM. Resultatene underbygger utfordringene med å lagre karbon i jord som allerede har et visst innhold av OM.

Simulert karbonendring over tid for Tingvoll gard, stemte bra overens med de målte verdiene for skifter der utgangsmengden av OM i jorda var ca 10 % og lavere. For skifter med høyere OM enn dette, var det raskere nedgang i målte verdier enn i simulerte endringer i karbonmodellen C-TOOL. I nesten samme jordart og samme vekstskifte, fant vi altså en raskere nedgang i innholdet av jordkarbon der innholdet var høyt i utgangspunktet enn der det var noe lavere. Dette viser at det er krevende å hindre en nedgang i OM og jordkarbon selv med flerårig eng og bruk av husdyrgjødsel.

Det at OM som tilføres jord *brukes* raskt opp, kan tolkes på flere måter. Det er negativt fordi det vanskeliggjør en langvarig lagring av karbon i jordbruksjord. For bøndene kan det imidlertid være positivt fordi mineraljordas agronomiske egenskaper forbedres når OM årlig tilføres og er tilgjengelig for jordlivet og omdannes til plantenæring og aggregater. Flere faktorer må derfor vurderes for å avveie forholdet mellom lagring av karbon og agronomisk nytte av sirkulering og omdanning av OM i jordbruksjord. Det beste, og vanskeligste, er å finne en balanse mellom lagring og bruk av OM og karbon i jord. Jordart, klimaforhold, samt mengde og type OM i jorda er også viktig for hvilke tiltak som er mest relevante i ulike produksjoner. En samlet gjennomtenkt forvaltning av OM mener vi kan være bedre for jordhelse og miljø, enn et ensidig fokus på karbonlagring i jord.

7 Referanser

- Bolinder, M.A. mfl. 2010. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 138, Issues 3–4, 335–342.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. 2008. *The nature and properties of soils*. Pearson Prentice Hall, USA.
- Bongiorno, G. mfl. 2019. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecol. Indic.* 99, 38–50.
- Båtnes, M. mfl. 2022. Jord, avling og næringsbalanse gjennom 30 år med økologisk drift. *Langtidsstudier på Tingvoll gard 1991-2021. NORSØK Rapport (7)* 12.
- Cotrufo, M.F og Lavallee, J.M. 2022. Soil organic matter formation, persistence, and functioning. *Advances in Agronomy*, 172, Chapter one 1-66.
- Ebbesvik, M. mfl. 2014. Jord, avlinger og næringsbalanser ved økologisk drift. *Langtidsstudier ved Tingvoll gard 1991-2013. Bioforsk Rapport (9)* 165.
- EEA Report, 2022. Soil monitoring in Europe. Indicators and thresholds for soil health assessments. [Soil monitoring in Europe – Indicators and thresholds for soil health assessments — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/themes/soil/indicators-and-thresholds-for-soil-health-assessments)
- FAO, 2019. Recarbonization of global soils. <http://www.fao.org/3/ca6522en/CA6522EN.pdf>
- FAO- ITPS, 2020. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/itps/itps-soils-letter/en/>
- Fajardo, M. mfl. 2016. Soil slaking assessment using image recognition. *Soil & Tillage Research*, 163, 119–129.
- Flynn, K.D., Bagnall, D.K. og Morgan, C.L.S. 2020. Evaluation of SLAKES, a smartphone application for quantifying aggregate stability, in high -clay soils. *Soil Science Society of America Journal*, 84, 345–353.
- Gestel, C.A.M, mfl. 2003. Suitability of wheat straw decomposition, cotton stripe degradation and bait-lamina feeding tests to determine soil invertebrate activity. *Biol Fertil Soils* 37, 115–123.
- Gongalsky, K.B., Persson, T. & Pokarzhevskii, A.D. 2008. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. *Applied Soil Ecology* 39, 84–90.
- Gordon, E.B. 2021. Evaluation of the microBIOMETER® mobile soil test as an indicator for soil microbial biomass and soil health. Masteroppgave, Cornell University.
- Janzen, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology & Biochem.* 38, 419–424
- Jeffery, S. mfl. 2017. “Biochar Boosts Tropical but Not Temperate Crop Yields - Supplementary Information.” *Environmental Research Letters* 12(5): 1–28.
- Julseth Brown, T. 2021. Testing a new methodology for measuring aggregate stability. Master Thesis, NMBU.
- Keel et al., 2019. Loss of soil organic carbon in Swiss long-term agricultural experiments over a wide range of management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 286.
- Kratz, W. 1998. The Bait-Lamina Test. *Environ. Sci. & Pollut. Res.* 5 (2), 94–96.
- Krogstad, T. 1992. Metoder for jordanalyser. NHL Institutt for jordfag Report 6 (92). NMBU, Ås, Norway.
- Krogstad, T. 2009. Laboratoriemetoder til emnet JORD212 - Jordanalyser. NMBU.
- Lavallee mfl. 2019. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology*, 26, 1, 261–273.
- Liang, C., Amelung, W., Lehmann, J., Kästner, M., 2019. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glob. Chang. Biol.* 25, 3578–3590.
- Lågbu, R., Nyborg, Å. & Svendgård-Stokke, S. 2018. *Jordsmonnstatistikk Norge*. NIBIO Rapport nr. 13.
- Moebius-Clune, B.N. mfl. 2017. Comprehensive Assessment of Soil Health. Cornell University <https://soilhealth.cals.cornell.edu/manual/> (14 feb 2023).
- NN, 2020. Landbrukets klimaplan 2021-2030. <https://www.bondelaget.no/bondelaget-mener/miljo-og-klima/klima/landbrukets-klimaplan-pdf/>
- Pelosi, C. mfl. 2020. Soil Oligochaeta communities after 9 decades of continuous fertilization in a bare fallow experiment. *Senckenberg Museum of Natural History Görlitz*.
- Pommeresche, R. 2020. Jordlappen- 10 indikatorer for vurdering av jordkvalitet og jordhelse. *NORSØK RAPPORT 5*, 2020. <https://orgprints.org/id/eprint/37074/>
- Pommeresche, R. og A. Fjellberg. 2011. Spretthaler – jordas små kaniner. <https://orgprints.org/id/eprint/30200/>
- Pommeresche, R og A. Seniczak. 2018. Jordlevende midd – jordas glemte nytte dyr. <https://orgprints.org/id/eprint/34140/>
- Pommeresche, R. og A.-K. Løes. 2009. Relations between agronomic practice and earthworms in Norwegian arable soils. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 129–142.

- Pommeresche, R. og A.-K. Løes, 2014. Diversity and density of springtails (Collembola) in a grass-clover ley in North-west Norway. *Norwegian Journal of Entomology* 61, 165-179.
- Pommeresche, R. R.B. Frøseth og H. Riley, 2019a. Hvordan måles innholdet av OM og karbon i norsk jord?. NORSØK FAGINFO 1, 2019. <https://orgprints.org/id/eprint/34362/>
- Pommeresche, R., G.L. Serikstad og S. Hansen. 2019b. Karbondynamikk i landbruksjord. NORSØK Faginfo nr. 2, 2019.
- Pribyl, D.W. 2010. A critical review of conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* 156, 75-83.
- Rasse, D. mfl. 2019. Muligheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord. NIBIO Rapport vol 5, 36.
- Riley, H. 2003. Mold i jord. *Planteforsk Grøn forskning*, 260-273.
- Riley, H. mfl. 2022. Soil carbon under arable and mixed dairy cropping in a long-term trial in SE Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 72, 648-659.
- Riley, H. & Bakkegard, M. 2006. Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 56, 217-223
- Rittl, T. mfl. 2022. Effect of soil organic matter management on soil characteristics, potato yield and potato disease in an intensive potato growing system (MERMOLD). *Norsøk report*, vol.7, nr. 10.
- Rittl, T. mfl. 2023. Effects of organic amendments and cover crops on soil characteristics and potato yields. *Acta Agriculturae Scandinavica, Sec.B-SOIL & PLANT SCIENCE*, 73 (1), pp. 13-26.
- Rygh, O.C. mfl. 2020. Nasjonalt program for jordhelse. Landbruksdirektoratet rapport 13/2020.
- Sain, D. 2022. Evaluation of microBIOMETER® as a tool to estimate soil health in west Tennessee cotton crop. Masteroppgave, University of Tennessee, Knoxville.
- Schmidt, M. W. I. mfl. 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49- 56.
- Serikstad mfl., 2018. Karbon i jord – kilder, handtering, omdanning. *Norsøk Rapport* nr 9.
- Taghizadeh-Toosi mfl. 2014. C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils. *Ecological Modelling* 292, 11–25.
- Weil, R. R. mfl. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, 1-17.

Vedlegg

Utvalg resultater

Engssystem, Tingvoll gard							
Indikator	Beh.	Antall	Mean	StDev	Min.	Max.	
Glødetap % (0-10 cm jorddybde)	1Eng	3	7,8	0,5	7,3	8,2	
	2Eng	3	7,3	2,1	4,9	8,7	
	3Eng	3	7,5	0,5	7,0	8,0	
	4Beite	3	16,7	2,5	14,2	19,2	
Aktiv C (mg akt C/kg jord)	1Eng	3	657,0	53,4	598,0	702,0	
	2Eng	3	674,0	181,0	492,0	853,0	
	3Eng	3	756,3	30,9	722,0	782,0	
	4Beite	3	806,0	77,3	736,0	889,0	
Microbiometertest (µgC/g jord)	1Eng	3	80,3	32,6	44,0	107,0	
	2Eng	3	315,7	24,1	288,0	332,0	
	3Eng	3	62,7	7,4	57,0	71,0	
	4Beite	3	413,0	96,4	310,0	501,0	
Microbiometertest (Sopp/Bakt)	1Eng	3	0,1	0,1	0,0	0,1	
	2Eng	3	0,6	0,1	0,5	0,6	
	3Eng	3	0,0	0,1	0,0	0,1	
	4Beite	3	0,8	0,2	0,6	1,0	
Mikroliv sopp (µg biomass/g jord)	1Eng	3	14,5	0,7	14,0	15,0	
	2Eng	3	44,5	7,8	39,0	50,0	
	3Eng	3	87,5	53,0	50,0	125,0	
	4Beite	3	144,0	0,0	144,0	144,0	
Mikroliv bak. (µg biomass/g jord)	1Eng	3	384,0	135,8	288,0	480,0	
	2Eng	3	240,0	67,9	192,0	288,0	
	3Eng	3	264,0	33,9	240,0	288,0	
	4Beite	3	288,0	67,9	240,0	336,0	
Matpinner	1Eng	3	73,4	17,7	31,3	93,8	
Snitt spist (%) ila 19 døgn	2Eng	3	74,5	19,1	37,5	96,9	
	3Eng	3	63,8	16,3	40,6	90,6	
	4Beite	3	54,2	13,5	37,5	75,0	
Solvita (ppm CO2-C/døgn)	1Eng	3	41,3	0,0	41,3	41,3	
	2Eng	3	43,8	1,0	42,6	44,4	
	3Eng	3	44,4	1,8	42,6	46,2	
	4Beite	3	55,0	2,1	53,8	57,4	
Pasco (ppm CO2/s)	1Eng	3	0,7	0,1	0,7	0,8	
	2Eng	3	1,6	0,3	1,2	1,8	
	3Eng	3	1,1	0,2	0,9	1,2	
	4Beite	3	2,3	0,5	2,0	2,9	
Antall spretthaler/dl jord (x 380 for antall/m2)	1Eng	3	34,7	9,8	29,0	46,0	
	2Eng	3	23,3	5,5	17,0	27,0	
	3Eng	3	33,7	16,5	17,0	50,0	
	4Beite	3	7,3	10,1	1,0	19,0	
Antall midd/dl jord (x 380 for antall/m2)	1Eng	3	18,7	13,4	9,0	34,0	
	2Eng	3	30,0	10,2	21,0	41,0	
	3Eng	3	11,7	7,1	4,0	18,0	
	4Beite	3	55,0	28,2	23,0	76,0	
Slake Indeks (SI)	1Eng	3	1,3	0,6	0,6	1,7	
	2Eng	3	0,9	0,2	0,8	1,1	
	3Eng	3	1,0	0,8	0,4	1,9	
	4Beite	3	0,7	0,4	0,2	0,1	

Utvalg resultater

Forsøksfelt Potet, Sunndal							
Indikator	Beh.	Antall	Mean	StDev	Min.	Max.	
Glødetap % (0-10 cm jorddybde)	BK+	3	2,40	0,1	2,3	2,5	
	BR	3	2,43	0,1	2,3	2,5	
	HG	3	2,47	0,1	2,4	2,6	
	KO	3	2,33	0,1	2,3	2,4	
Aktiv C (mg akt C/kg jord)	BK+	3	241,8	28,3	210,1	264,6	
	BR	3	252,0	1,5	250,6	253,6	
	HG	3	208,1	95,4	141,6	317,4	
	KO	3	217,6	46,1	165,4	252,6	
Microbiometertest (µgC/g jord)	BK+	3	391,7	97,6	296,0	491,0	
	BR	3	433,7	38,9	405,0	478,0	
	HG	3	399,0	25,0	371,0	419,0	
	KO	3	424,7	72,3	365,0	505,0	
Microbiometertest (Sopp/Bakt)	BK+	3	0,7	0,2	0,5	0,9	
	BR	3	0,8	0,1	0,7	0,9	
	HG	3	0,7	0,1	0,7	0,8	
	KO	3	0,8	0,1	0,7	0,9	
Mikroliv sopp (µg biomass/g jord)	BK+	3	15,5	0,7	15,0	16,0	
	BR	3	98,5	81,3	41,0	156,0	
	HG	3	35,5	9,2	29,0	42,0	
	KO	3	133,0	168,0	14,0	252,0	
Mikroliv bak. (µg biomass/g jord)	BK+	3	240,0	33,9	216,0	264,0	
	BR	3	264,0	33,9	240,0	288,0	
	HG	3	324,0	17,0	312,0	336,0	
	KO	3	276,0	50,9	240,0	312,0	
Matpinner	BK+	3	29,4	9,7	9,4	40,6	
Snitt spist (%) ila 15 døgner	BR	3	20,8	15,8	0,0	53,1	
	HG	3	24,0	17,3	0,0	65,6	
	KO	3	15,4	11,3	3,1	37,5	
	BK+	3	12,7	4,7	8,5	17,7	
Solvita (ppm CO2-C /døgn)	BR	3	18,5	3,8	16,0	22,9	
	HG	3	15,9	6,9	11,9	23,9	
	KO	3	12,6	2,0	10,3	13,7	
	BK+	3	0,6	0,3	0,4	0,9	
Pasco (ppm CO2/s)	BR	3	0,8	0,0	0,7	0,8	
	HG	3	0,6	0,1	0,6	0,7	
	KO	3	0,6	0,1	0,6	0,7	
	BK+	3	0,4	0,4	0,1	0,8	
Slake Indeks (SI)	BR	3	0,5	0,4	0,1	0,8	
	HG	3	0,5	0,3	0,2	0,8	
	KO	3	0,1	0,1	0,0	0,2	
	BK+	3	0,4	0,4	0,1	0,8	



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølvstendig stifting.

Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfagleg forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk. NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn. Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

Besøks- /postadresse

Gunnars veg 6
6630 Tingvoll

Kontakt

Tlf. +47 930 09 884
E-post: post@norsok.no
www.norsok.no