

Jordforbedring i økologisk veksthus

Bedre jordhelse og plantevern

NORSØK RAPPORT | VOL. 9 | NR. 3 | 2024



TITTEL

Jordforbedring i økologisk veksthus – bedre jordhelse og plantevern

/ Soil Improvement in Organic Greenhouse – better Soil Health and Plant Protection

FORFATTERE(E)

Susanne Friis Pedersen

DATO: 05.03.2024	RAPPORT NR. Vol 9/nr 3/2024	Åpen	PROSJEKT NR.: 3230	
ISBN: 978-82-8202-180-7	ISSN:		ANTALL SIDER: 36	ANTALL VEDLEGG: 0

OPPDRAGSGIVER:

Landbruksdirektoratets utviklingsmidler til
økologisk landbruk

KONTAKTPERSON NORSØK:

Susanne Friis Pedersen

STIKKORD:

Kompost, biorest, biokull, jorddekke,
sjukdomshemming

Compost, solid digestate, biochar, soil cover,
disease suppression

FAGOMRÅDE:

Jord, veksthus

Soil, greenhouse

SAMMENDRAG:

Jordforbedring er et tema som fins i et kryssfelt av andre temaer eller disipliner innenfor jord- og hagebruksfag. Det innebærer for eksempel næringstilførsel, sjukdomshemming og jordkvalitet, kategorisert etter enten fysiske, kjemiske eller biologiske egenskaper.

Jordforbedring gjøres for å oppnå god jordhelse. Jordhelse er på samme måte et komplekst og sammensatt begrep som favner mange funksjoner og indikatorer. Fra 1970 og frem til i dag er det beskrevet 10 temaer som kjennetegner jordhelse og det er minst 18 konsepter og definisjoner på jordhelse. En tilnærming som kan egne seg for jord i norske, økologiske veksthus omhandles her.

Nytt regelverk for økologisk veksthusproduksjon utfaser dyrking i «avgrenset bed», f.eks. potte og sekk, med mindre planten selges sammen med potte eller sekk. Det stilles også krav til vekstskifte, som det er vanlig å ha ved frilandsdyrking. Et innslag i vekstskiftet som bidrar til jordforbedring, er dyrking av grønngjødsel som moldes ned og dermed tilfører jorda organisk materiale. Tilførsel av organisk materiale er essensielt for både jordhelse og jordforbedring. Derfor beskriver rapporten

tilførsel av kompost, biorest og biokull. Disse materialene jobbes det videre med eksperimentelt i prosjektet som rapporten er en del av.

Det fins flere metoder for å undersøke biologisk liv i jorda, her introduseres de følgende metodene: Solvita® respirasjonstest som viser tilstedeværelse av sopp og bakterier, MicroBiometer®-test som viser fordeling av sopp og bakterier og «matpinner» som viser biologisk aktivitetsnivå over tid.

Deretter beskrives ulike plantepatogener som kan være et problem ved dyrking av agurk og tomat i veksthus, og hvordan det kan gjøres sjukdomshemmende og jordforbedrende tiltak mot disse.

SUMMARY:

Soil improvement is a topic in-between other topics or disciplines in the soil- and horticulture subjects. It involves for instance plant nutrient supply, plant pathogen suppression and soil quality categorized by physical, chemical, or biological properties.

Soil improvement is a way to obtain good soil health- Soil health is as well a complex and composite term that covers many functions and indicators. From 1970 until today 10 topics and at least 18 concepts and definitions are presented. An approach suitable for Norwegian, organic greenhouses is made in this report.

The new RU regulation on organic farming phases out cultivation in demarcated beds, e.g. pot or bag except of when the plant is sold together with a pot or a bag. It requires a certain crop rotation as well like practised in field cultivation. An element in crop rotation, providing soil improvement, is cultivation of green manure, which is ploughed down, and in this way adds organic matter to the soil. Addition of organic matter is essential for soil health and soil improvement. Consequently, addition of compost, bioresidue, and biochar is featured in this report. Compost, bioresidue and biochar are elements in an ongoing experimental work belonging to this present project too.

For description of biological soil life some methods are introduced: Solvita® respiration test which shows presence of soil fungi and soil bacteria; MicroBiometer® which shows division of the fungi and bacteria; and bait lamina sticks which shows biological activity over time.

Following some relevant plant pathogens affecting cucumber and tomato production in greenhouse are introduced including what can be done to suppress disease and how to do soil improvement to control them.

LAND:	Norge
FYLKE:	Møre & Romsdal
KOMMUNE:	Tingvoll

Forord

Jordforbedring i veksthus plasserer seg mellom andre emner og derfor er det hentet kunnskap fra litteratur, foredrag, praktiske erfaringer og fra NORSØKs tidligere arbeid (slik det var forutsatt ved finansiering av prosjektet).

De aktuelle foredragene som er referert til er holdt ved ulike konferanser og anledninger:

- Landbrukets Økologikongress 2020. Innlegg ved O´Toole, A. og Riley, H., NIBIO og ved Schachian-Tabrizi, K., UiO. 20.-21.1. 2020.
- FOU-dager Sverige. Innlegg ved Rosholm, K. & Alsanius, B. fra SLU Inst. for biosystem og teknologi: Växtföljd i växthus. 21.10.2021.
- Besøk ved NORSØK. Innlegg ved Føreid, B., NIBIO: Behandling av organiske avfallsstoffer. 16.6.2021.
- Webinar Global Use of Soil-degradable Plastic Mulch. 1.3.2022. Innlegg ved Flurry, M. fra Washington University: Impacts of BDM on soil health.
- Webinar Växtbiostimulanter. Innlegg ved Samuelsson, A. fra Jordbruksverket: Olika kategorier av växtbiostimulanter. 17.6.2021.
- Webinar Interreg 2 Seas Horti-BlueC. Innlegg ved Visser, R. «Biochar & Energy from used substrates» 3.6.2021.
- Webinar Interreg 2 Seas Horti-BlueC. Innlegg ved Vandecasteele, B., ILVO: Microbial activity in growing media and interaction with nitrogen. 9.11.2021.

Rapporten er en del av prosjektet «Økologisk veksthusdyrking i bakken ved norske forhold» som NIBIO, NORSØK og NLR samarbeider om.

Prosjektet omfatter dessuten veksthusforsøk med tomat og agurk. Det prøves ut jordblandinger med torv, kompost, biokull og biorest. Det løper fra 2022-2024 og er støttet av Landbruksdirektoratets utviklingsmidler til økologisk Landbruk.

Tingvoll, 05.03.24

Susanne Friis Pedersen

Innhold

1	Innledning.....	4
2	Jordhelse	5
2.1	Indikatorer på jordhelse.....	6
	<i>Driftsform og jordhelse</i>	7
2.2	Jordhelse og økosystemtjenester	8
2.3	Norsk tilnærming	9
2.3.1	Veksthus.....	10
3	Jordforbedring.....	11
3.1	Kompost	13
3.1.1	Kompost som sjukdomshemmer	15
3.2	Biorest	15
3.3	Biokull.....	17
3.4	Grønnjødsel.....	18
3.5	Jorddekke	18
3.6	Patogener i veksthus.....	20
3.7	Biostimulanter som jordforbedrer og sjukdomshemmer	22
4	Jordliv	24
4.1	Måling av jordliv.....	26
5	Oppsummering.....	27

1 Innledning

God jordhelse er et mål for jordforbedring. Jordhelse er et bredt begrep som defineres ut fra flere kriterier. Helse er mer enn fravær av sykdom og omfatter trivsel på flere plan, som fysisk, psykisk og sosial trivsel for mennesker og dyr. Jordas helse og trivsel vil man på samme måte kunne beskrive ut fra flere vinkler, i form av fysiske, kjemiske og biologiske aspekter.

Jordhelse og jordforbedring er to sider av samme sak, så og si. Derfor innledes rapporten med en introduksjon til begrepet «jordhelse». Jordhelse med behov for tiltak varierer globalt. Derfor snevres det her inn til en norsk tilnærming. I 2020 lanserte Landbruksdirektoratet et nasjonalt program for jordhelse. Det er mest relevant for dyrket jord på friland, men noe er også relevant for dyrkingsforhold i veksthus (Rygh m.fl., 2020). Eksempelvis er funksjoner i jorda de samme inne som ute. Bekymring for tap av organisk materiale og karbon er det samme inne som ute. De nye reglene for økologisk drift vil i høyere grad forankre veksthusproduksjon i økologiprinsippet ut fra levende økologiske systemer med økologisk balanse som verner miljø, inkluderer landskap og gir bra levesteder for planter (og dyr). Et annet prinsipp som ønskes styrket med de nye reglene er helseprinsippet, der «økologisk landbruk skal opprettholde og fremme helsa til jord, planter, dyr, mennesker og jordkloden som en udelelig helhet» (OIKOS 2005). De nye reglene innfører krav om dyrking i jord og forbud mot dyrking i avgrenset medium, med unntak av blomster og krydder som selges sammen med potten de vokser i (Mattilsynet, 2022).

Ulike former for jordforbedring kan være aktuelle for veksthus med dyrking direkte i bakken. Det kan være iblanding av substrater som torv, kompost, biorest og biokull. Det kan også være tilførsel av enten helsefremmende eller sjukdomshemmende komponenter. Fordeler og ulemper trekkes frem. Norske veksthus er ikke nødvendigvis bygget på den beste matjorda og derfor trengs det jordforbedring. Dette kan sies å være to sider av samme sak; sunne planter vil i lengden stå seg bedre mot mulige skadegjørere.

Biologisk liv i jord kan forebygge plantesjukdommer. Dette prioriteres i det nye øko-regelverket, for eksempel ved bruk av underkultur eller dekking av jorda. Det anbefales også vekstskifte med minst en belgvekst (Anon., 2022). Jordforbedring med organisk stoff gir liv til mikroorganismer og er «input» i jordas kretsløp og dynamikk. Andre stimulerende «input» kan være biostimulanter, som det etter hvert har blitt et økende marked for. Biostimulanter kan være relevante for veksthusdyrking ettersom det er et avgrenset område med intensiv dyrking av høyverdiprodukter og temperaturforholdene er gunstige. Dessverre blir det ikke plass nok til å behandle dette temaet fullt ut, og det er i tillegg et tema som det ikke fins så mye kunnskap om for norske forhold.

2 Jordhelse

FAOs definisjon på jordhelse er «jordas evne til å fungere som et **levende** system, som bidrar til å opprettholde plante- og dyreproduksjon, opprettholde eller forbedre vann- og luftkvalitet, og fremme plante- og dyrehelse. Frisk jord opprettholder et **mangfold av jordorganismer** som bidrar til å kontrollere plantesykdommer, insektangrep og ugras, danner gunstig samarbeid med planterøtter, resirkulerer næringsstoffer, forbedrer jordstrukturen med positive ringvirkninger for jordas evne til å holde på vann og næring; og der samlet effekt er **bedre forhold for planteproduksjon**» (FAO, 2008).

Jordhelse bedømmes etter hvor god evne jorda har til å utøve sine mange viktige funksjoner. I likhet med helse og velvære hos folk og dyr er dette veldig komplekst, umulig å måle presist, men like fullt veldig viktig. Fra et økologisk ståsted er det holistiske perspektivet viktig – også for å understreke at jordforholdene i et veksthus har sammenheng med den omgivende naturen.

Jordhelse brukes ofte synonymt med «jordkvalitet». En oversikt for litteratur fra 1970 fram til i dag viser 10 faktorer som kjennetegner bra jordhelse og 18 konsepter og definisjoner av jordkvalitet (Seifu & Elias, 2018). Eksempler med relevans for jord i veksthus er «tilstrekkelig dybde», «god drenering», «stor populasjon av nyttige organismer», «fravær av planteskadende stoffer» og «lite forekomst av ugras». I forbindelse med oversikten fremheves at «økobønder baserer driften sin på jordas biologi fremfor på kjemiske virkemidler»; dette utsagnet stammer fra Rodale Institute i USA, som har drevet økologisk pionervirksomhet siden oppstart og utforming av et økologisk konsept for dyrking (Seifu & Elias, 2018). En definisjon fra 1992 danner grunnlaget for nok det mest brukte systemet for vurdering av jordhelse, utviklet ved Cornell universitet: «Jordhelse er en status med dynamisk balanse mellom flora, fauna, omgivende jordmiljø, der det er metabolsk aktivitet uten stress eller hindringer» (Goswani & Rattan, 1992 referert i Seifu & Elias, 2018).

Jordhelse betegnes også som jordas kapasitet til å fungere innenfor rammene av et økosystem og kan oppsummeres med fire viktige hjørnesteiner: biodiversitet, matproduksjon, vannhusholdning og karbonlagring. Helt kort vil noen kanskje si at «det handler om jordas tilpasning til formålet den skal brukes til» (Flurry, pers. komm. 2022).

Jordhelse generelt trues hvis jorda utarmes for næringsstoffer eller det skjer forsøling, forurensing, nedbygging, erosjon eller ødelegging av struktur.

Et sikkert tiltak for bedre jordhelse i de fleste jordtyper er å øke moldinnholdet ved å tilføre organisk materiale. Økt moldinnhold har flere positive effekter: Aggregatstrukturen blir bedre og mer stabil. Dermed øker også kapasiteten for karbonbinding, vannlagring, luftutveksling og kationbytte (Riley, pers. komm.). Tilførsel av organisk materiale øker også biologisk mangfold fordi det er livsgrunnlaget for mikroorganismer og virvelløse dyr i jorden.

I dag er det noenlunde enighet om at jordhelse handler om:

*Jordens fortsatte kapasitet til å fungere som **levende økosystem** som understøtter planter, dyr og mennesker. Å fungere innbefatter **egnethet for bruk og jordkvalitet** i forhold til fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper (Seifu & Elias, 2018).*

2.1 Indikatorer på jordhelse

EU etterlyser overordnet i jordbunnsstrategien sin bedre oversikt over arealutnyttelse og politikk-relaterte data. Det antas at 60-70 % av jordsmonnet i EU er i dårlig stand. Det etterlyses også en paraply av flere indikatorer. I den forbindelse nevnes digitale verktøy for vurdering av jordhelse med lagring av karbon og økt forståelse av jordbiota. Mye karbon tapes på grunn av dårlig landbrukspraksis og derfor etterlyses flere mer bærekraftige metoder som vekstskifte, plantedekke, færre tunge maskiner og mindre kjemi (EU 2021a). Initiativet «Test jorda di gratis» i Frankrike fremheves som modell for generering av flere data om karakteristika ved jord (EU 2021a).

EU-kommisjonens forslag til viktige indikatorer for jordhelse, som skal samordne jordhelse og landskap på internasjonalt plan er: Tilstedeværelse av jordforurensere, overskudd av plantenæringsstoff og salt; organisk jordkarbon; jordstruktur; biologisk mangfold av jordliv; pH; vegetasjonsdekke helt eller delvis gjennom året; landskapsmangfold og skog eller annet dekke av vedaktige planter (EU 2021b). Indikatorene er utvalgt etter at de samsvarer med lignende mål for ren luft og rent hav; metodene er i tillegg krediterte vitenskapelig.

Indikatorene må være enkle å måle, kunne kombinere fysiske, kjemiske og biologiske prosesser, være sensitive overfor endret praksis, ha liten feilprosent, kunne relatere til forventede verdier og være kulturelt akseptable og økonomisk forsvarlige. Mankotia m.fl. har utarbeidet et mobilt laboratorium til bruk for bønder i India slik at de med et minimum av kvantitative og kvalitative data kan vurdere behov for tiltak for bedre jordhelse. De oppsummerer de viktigste tiltakene: Redusert bearbeiding, vekstskifte, bruk av levende dekkvekster og jorddekke (Mankotia *et al.*, 2019). Tiltakene kan også være aktuelle i veksthus.

De to mest anvendte systemene for vurdering av jordhelse globalt er Haneys test (se avsnitt 4.1.) og Comprehensive Assessment of Soil Health (CASH) fra Cornell Universitet.

CASH tar utgangspunkt i kompleksitet av fysiske, kjemiske og biologiske indikatorer. Fokus på kjemiske egenskaper med tilstedeværelse eller fravær av næringsstoff, slik som har vært normen for jordanalyser i det siste århundret, er alt for sneversynt, bemerkes det i fremstillingen om rammeverket for CASH (Moebius-Clune *et al.*, 2016). Det er i alt 39 spesifiserte indikatorer som tildeles poeng etter en systemnøkkel. En forenklet fremstilling fins i tabell 1 der det er gjort sammenslåing av f.eks. størrelsesintervaller av aggregater til en indikator for alle aggregater og sammenslåing av tre nivåer av porøsitet.

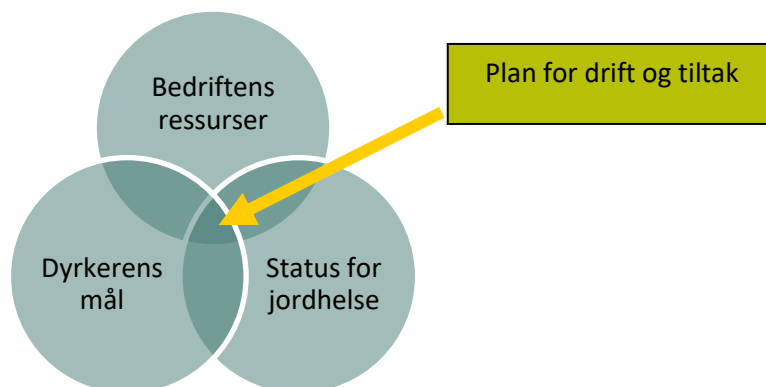
Tabell 1. CASH vurdering av jordhelse består av 39 indikatorer som kategoriseres etter fysiske, kjemiske og biologiske indikatorer. Etter Moebius-Clune *et al.* 2016.

Comprehensive Assessment of Soil Health (CASH)		
Fysiske indikatorer	Kjemiske indikatorer	Biologiske indikatorer
Porøsitet, densitet*, skorpe, aggregatstørrelse og infiltrasjon m.m.	pH, fosfor, kalium, mikronæring, tungmetaller m.m.	Nematoder, ugras, aktivt karbon, SOM**, omsetning av cellulose, potensiale for N-opptak m.m.

*) = tetthet, **) Soil Organic Matter = organisk stoff i jord

Driftsform og jordhelse

CASH er utarbeidet for å være en støtte for gårdbrukeren til å ta beslutninger om driften. Dette er illustrert i figur 1. Jorda forandrer seg sakte og konsekvenser av driftsform viser seg derfor seint. Derfor er det dels viktig å utføre tiltak i driften, vurdere og tilpasse løpende og dels å ha et langsiktig perspektiv (Moebius-Clune *et al.*, 2016; Flurry, pers. komm. 2022).



Figur 1. Plan for drift og tiltak er et kompleks av ressurser, mål og status for jordhelse som løpende må utføres, måles/vurderes og tilpasses. Etter (Moebius-Clune *et al.*, 2016)

Studier fra Nord-Amerika har ikke funnet betydelige forskjeller i jordhelse mellom ulike driftsformer. Etter fire år var driftas virkning på jordhelse liten i forsøk med og uten plastdekke i Nord-Amerika med to årlige målinger på vår og høst (Flurry, pers.komm.). Det samme konstaterte Rinot *et al.* (2019) ved undersøkelser av jord ved ulike driftsformer i North Carolina. Dette kan skyldes at det er vanskelig å holde oversikt og måle status, og at det ved fokus på enkelte faktorer kan være lett å vri resultatet ut av helheten, ettersom ikke alle faktorer kan kvantifiseres (Rinot *et al.*, 2019). Wibe m.fl. (2022) sammenlignet økologisk og konvensjonelt drevet jordbær- og bringebærproduksjon. De fant signifikante forskjeller i biologisk liv i både jordbær- og bringebær dyrkingen. I de konvensjonelle feltene var det mindre respirasjon fra jordlivet og det var mer bakterier enn sopp. Sammenlignende studier mellom konvensjonell og økologisk driftsform i USA, Nederland og Tyskland bekrefter at karboninnholdet i jord er høyere på økologiske bedrifter enn på tilsvarende konvensjonelle. Dette forklares med at økologisk driftsform anvender metoder som vekstskifte, hvor belgvekster inngår, og gjødsler med organisk gjødsel (Serikstad m.fl., 2018).

Studier fra India for å støtte gårdbrukeres beslutninger vedrørende drift og driftstiltak, vektet seks indikatorer som de viktigste: Tekstur, pH, jordkarbon, stabile vannholdende aggregater, porøsitet og jordas makrofauna. Med dette utgangspunktet har gårdbrukeren det minimum av data som trengs for å ta fornuftige beslutninger. Systemet er utarbeidet i delstaten Madhya Pradesh og forkortes DUS (soil) og refererer til D= distinctiveness (no: sær-egenhet), U = utility (no: anvendelighet) og S = simplicity (no: enkelhet) for jord. Veiledningen er utarbeidet fordi landbruksrådgivningen finner at det er mangel på slike indikatorer for lokale forhold, og at det er vanskelig for gårdbrukere å se sammenhengen mellom jordhelse, avling og valg av driftsform (Govindakrishnan *et al.*, 2022). Jordlappen, som er utarbeidet til norske forhold og omtales senere, omfatter 10 indikatorer. Studiene nevnt i dette avsnittet er gjort på friland.

2.2 Jordhelse og økosystemtjenester

En holistisk tilnærming til jordhelse omfatter økosystemtjenester, og derfor betraktes økosystemtjenester som trinn to i en jordhelseanalyse etter fysiske, kjemiske og biologiske data. Data for økosystemtjenester kategoriseres med tjenester som fremmer økosystemet ved støttende, regulerende funksjon eller gir annen form for nytte. Det kan for eksempel være funksjoner som at vannet renses, at klimaet reguleres ved at bunndekket opptar sollys og -varme, og at blomsterstriper tiltrekker pollinerende insekter eller avskrekker skadegjørere (Rinot *et al.*, 2019). FNs jordår 2015 avdekket flere funksjoner i jord som utgjør økosystemtjenester: Karbonlagring, regulering av vann og klima, næringsstoffkretsløp, habitat, grunnlag for produksjon av mat, fiber og energi (FAO, 2018).

Tabell 2 utdyper kategorier og eksempler på økosystemtjenester.

Tabell 2. Eksempler på økosystemtjenester i forbindelse med jord som ressurs (Anon.,2020).

Tjenester	Jordfunksjoner
Støttende	
Jorddannelse	Forvitring av mineraler og frigjøring av næringsstoffer Omdanning og lagring av organisk materiale Dannelse av porestruktur som inneholder luft, vann og gir forhold for røtters vekst Dannelse av ladede overflater for lagring og utveksling av ioner
Primærproduksjon	Medium for frømodning og røtters vekst Forsyner planter med vann og næring
Næringskretsløp	Nedbryting av organisk materiale av jordorganismer som i neste omgang lagres og/eller frigjøres til planter
Regulerende	
Vannkvalitet	Filtrering og bufring av partikler i jord Rensing av forurenset jord
Vannforsyning	Infiltrasjon og transport av vann i jorda Drenering av overflødig vann fra jordsmonnet til grunnvannet
Klima	Klimagasser (lagre karbon og forhindre tap av klimagasser)
Erosjon	Holde jordsmonnet fast til undergrunnen
Sykdom	Nedbryting av plante-, dyre-, og humanpatogener
Forsynende	
Matforsyning	Vann-, nærings- og vekstmedium for planter til mennesker og/eller dyr
Vannforsyning	Lagring og rensing av vann
Fiber og energi	Vann, nærings- og vekstmedium for planter som gir oss fiber og energi
Jord og jordmineraler	Torv, matjord og jordmineraler
Overflatestabilitet	Stabilt fundament for infrastruktur
Tilholdssted	Habitat for jordorganismer, insekter, fugler m.m.
Genetiske ressurser	Kilde til unik, ukjent og mulig nyttig genetisk materiale
Kulturelt	
Kulturlandskap og kulturminner	Bevaring av arkeologiske gjenstander, gravminner, ulike natur- og kulturlandskap Kilde til pigmenter og fargestoffer

2.3 Norsk tilnærming

I Norge, hvor bare tre prosent av arealet er dyrket, er det stort behov for å verne om arealet slik at det ikke blir omgjort til annet formål.

Nasjonalt program for jordhelse fra Landbruksdirektoratet legger derfor vekt på «at jordas fysiske, kjemiske og biologiske komponenter fungerer optimalt sammen» og at «Jordhelse som begrep innebærer økt vektlegging av livet i jord, organisk materiale og jordstruktur». Jordstruktur er samtidig «avhengig av et allsidig og aktivt jordliv». Dette gir «de beste forholdene for god plantevekst» (Rygh m.fl., 2020). Programmet er rettet mot arealbruk i større skala enn i veksthus, men ettersom intensjonene i økologien er å legge produksjonen til rette slik at den er i samsvar med natur er det relevant å ha med som bakgrunn når en skal se på jordhelse og jordforbedring ved dyrking i bakken i veksthus.

Jordbruksavtalene mellom stat og interesseorganisasjoner har derfor prioritert økt kunnskap om karbonbinding, bedre bruk av fangvekster og biokull. Dette er tiltak som også vil kunne brukes i veksthus. Foregangsfylke, tidligere Buskerud Fylke, med prosjektet «Levende matjord» har bearbeidet begrepet «jordhelse» for norske forhold med henblikk på jordas biologiske prosesser, jordfruktbarhet og helhetlig jordvurdering. Begrepet er i stigende grad tatt i bruk ved informasjonsmøter og andre aktiviteter (Rygh m.fl., 2020). Det er vedtatt at 1000 lokaliteter med fulldyrket jord skal overvåkes med hensyn til fem trusler som er relevante for norske forhold. Det gjelder erosjon, tap av organisk materiale og av biologisk mangfold, jordpakking og forurensing (Svendgård-Stokke m.fl., 2021).

NORSØK har utviklet Jordlappen med 10 indikatorer på god jordhelse. Det er avholdt kurs om dette i felt over det meste av landet (Pommeresche, 2020). De 10 indikatorene er:

- Jordstruktur
- Jordart
- Moldinnhold
- Omdanning av planterester
- Jordpakking
- Vanninfiltrasjon
- Plantevekst
- Røtter og jordliv
- Biologisk nitrogenbinding
- Meitemark

I det nasjonale programmet for jordhelse fremheves jordpakking som et av de største problemene. Det betyr at store porer i jorda ødelegges av tunge maskiner og at avlingene stagnerer. Programmet formidler oppsummering av amerikansk kunnskap om forbedring av jordhelse: Minimer forstyrrelse av jord, maksimer jorddekke, maksimer mangfoldet, maksimer tiden og mengden med levende planter (Rygh m.fl., 2020).

Kompost, biokull og husdyrgjødsel betraktes generelt som positive tiltak, avhengig av hygieniseringsgraden. Det samme gjelder vekstskifte, idet oppformering av skadegjørere hindres, bilde 2. Jordprogrammet i Norge etterlyser mer kunnskap om hvordan bruk av ulike komposttyper og komposteringsmetoder virker på jordhelse. Det etterspørres dessuten bedre dokumentasjon for biostimulanter og at tiltak er tilpasset den aktuelle plantekultur (Rygh m.fl., 2020).

2.3.1 Veksthus

I veksthus er flere dyrkingsfaktorer regulert av dyrkeren enn det lar seg gjøre på friland. Det gjelder for eksempel temperatur, vanning, vekstmedium og plantemateriale.

Indikatorene fra Jordlappen er relevante for veksthusproduksjon om man for punkt 2. «Jordart» definerer det som en antropogen jordart; altså en jordart skapt av mennesker. Det kan for de øvrige punkter også anføres at menneskelig regulering er større i veksthus enn ute i naturen. Det kan også innvendes at jorda i veksthus er for «ung» og «påvirket» til at det kan gis indikasjoner på jordlivet og dermed et realistisk bilde.

Økologisk veksthusproduksjon i Norge, med rundt 75 daa godkjent areal, omfatter over 70 bedrifter i 2022 (Debio 2023). De største enhetene ligger i Rogaland og Lier, samt andre deler av Sør-Norge. Noen bedrifter har alt omlagt til dyrking i jord, noen dyrker fortsatt i sekk og atter noen har begge deler. Veksthusproduksjonen varierer i teknologi og spesialisering. For teknologi gjelder det oppvarming, utforming av bygg og ulike rutiner for arbeid. For spesialisering gjelder det kulturer, sesonglengde og arbeidsgang/-mengde. Slike variasjoner er vanlige i det meste av Europa (Tittarelli *et al.*, 2016).

Jordpakking, som nevnt på friland, er også et problem i veksthus – kanskje ikke på grunn av tunge maskiner, men mangel på struktur eller at komponentene i kompost krymper etter hvert som de omsettes tilsvarende problemstillingen (Friis Pedersen & Løes, 2022). De nevnte tiltakene og behov på friland er også aktuelle for veksthus.

I veksthus ser man oftere jordtrettethet enn på friland. Det dyrkes nært beslektete arter over lang tid og de dyrkes intensivt. Dessuten kan biotiske faktorer som nematoder, patogener, sopp og bakterier samt abiotiske faktorer som ubalansert næring, dårlig jordstruktur, lite mold og toksiner forringe jordkvaliteten.

Hvis jordas innhold av næringsstoffer er lavt, vil det på et lite areal som et veksthus, der planteveksten er såpass intensiv, være mulig å tilføre gjødsel i flytende form. Dette innebærer dog en risiko for at mengden og tidspunktet ikke er korrelert med plantenes behov og derfor kan føre til uønsket avrenning av næringsstoffer (Haukås & Knutsen, 2020).



Bilde 1. Allsidig dyrking med vekstskifte er forebyggende plantevern. Foto: Susanne Friis Pedersen.

3 Jordforbedring

Jordforbedringsmidler er «produkter som bare, eller vesentlig, virker gagnlig på jordas/dyrkingsmediets fysiske, kjemiske og/eller biologiske tilstand og dermed indirekte på planteveksten» ifølge gjødselvareforskriften. Jordforbedringsmidler kan være organisk materiale, for eksempel kompost, biorest, biokull, grønn gjødsel eller jorddekke.

Gjødselvareforskriften definerer videre dyrkingsmedium slik: «Grunnstans av naturlige eller kunstige produkter som enkeltvis eller i blanding, uten eller med tilsatte næringsstoffer eller annen tilsetning, skal brukes til dyrking av planter» (Anon., 2003a). Det er dermed overlapp i definisjonen mellom jordforbedring og gjødsel.

Gjødselvare kan ikke markedsføres som økologisk, men kan merkes med at det «kan brukes i økologisk produksjon». Økologiske bedrifter kan få godkjent bruk av gjødsel med ikke-økologisk opphav så fremt de kan dokumentere et behov.

Jordforbedringsmidler, dyrkingsmedier og jorddekkingsmidler må følge Norsk Standards kriterier for varedeklarasjon, pakking og merking (Anon., 2003b). Regelverket om organisk gjødsel, jordforbedringsmidler og dyrkingsmidler er under revisjon (Mattilsynet, 2023).

Innhold av tungmetaller

Innhold av tungmetall er avgjørende for i hvilken kvalitetsklasse en gjødselvare plasseres. Gjødselvareforskriften har fire klasser: 0, I, II, III, hvor 0 har lavest innhold og III høyest innhold av tungmetaller. Ut fra dette defineres bruksområder: Klasse 0 kan brukes på jordbruksarealer, i private hager, parker og grøntarealer; klasse I kan brukes på samme arealer som nevnt i klasse 0, men med begrensning på fire tonn tørrstoff per dekar i løpet av en tiårsperiode eller lagt ut i maksimalt fem cm tykkelse hvor det ikke skal dyrkes mat eller fôr; klasse II begrenses til to tonn tørrstoff i løpet av en tiårsperiode og ellers som forrige klasse; klasse III kan høyst legges i fem cm lag i løpet av tiårsperiode eller på avfallsfylling 15 cm. Det er grenseverdier for tungmetaller i gjødselvarer til økologisk landbruk. De ligger mellom klasse 0 og I, med unntak av krom som ligger høyere enn klasse I, se tabell 3 (Anon. 2003a; Hvitsand & Kleppe, 2011). Uønskede stoffer, inkludert tungmetaller, er også forsøkt utelukket fra økologisk dyrking ved at regelverket for økologisk dyrking forbyr all gjødsel og råstoff til kompostering og biogass stammer fra industrilandbruk eller avløps slam. Andre uønskede stoffer er medisinerester og rester av plantevernmidler (Serikstad m.fl., 2016).

Tabell 3. Kvalitetsklasser i gjødselvereforskriften og tungmetallgrenser for gjødsel for økologisk landbruk. Bearbeidet etter Hvitsand & Kleppe, 2011.

Kvalitetsklasse/ Tungmetall (mg/kg tørrstoff)	0	Økologisk Landbruk	I	II	III
Kadmium Cd	0,4	0,7	0,8	2	5
Sink Zn	150	200	400	800	1500
Kobber Cu	50	70	150	650	1000
Kvikksølv Hg	0,2	0,4	0,6	3	5
Nikkel Ni	20	25	30	50	80
Krom Cr	50	70	60	100	150
Bly Pb	40	45	60	80	200

Det fremgår av gjødselvereforskriften at produsenter av organisk gjødsel har plikt til å vise aktsomhet med hensyn til plantevernmiddelester og materialer fra industri- eller sterkt trafikkerte områder, i tillegg til tungmetall.

Innhold av animalsk eller vegetabilsk opprinnelse

Aktsomhet er også påkrevd der det inngår produkter av animalsk eller vegetabilsk opprinnelse. Vitenskapskomiteen for mat og miljø (VKM) har risikovurdert muligheten for spredning av en rekke alvorlige planteskadegjørere og invaderende plantearter som kan passere gjennom husdyrs fordøyelsessystem. VKM konkluderer med at det er lite sannsynlig at bakterier, virus, insekter og midd overlever, men enkelte sopparter kan fortsatt være problematiske. Det gjelder *Plasmodiophora brassicae*, *Verticillium dahlia* og *V. albo-atrum*, *Sclerotinia spp.*, *Spongospora subterranea*, *Synchytrium endobioticum* og *Tilletia caries* (VKM, 2016). Noen frø av ugras kan også passere, blant annet fra syreslekta *Rumex spp.*, meldestokk *Chenopodium album* og vindeslirekne *Fallopia convolvulus*. Frøene mister dog spireevnen sin når temperaturen i kompost eller biogassanlegg kommer over 55 °C i minst tre dager (VKM, 2016). Det er stor sannsynlighet for at temperaturen overstiger denne terskelen. Lavere temperaturer, som 30-40 °C i minst fire uker, vil på samme måte også sanere en kompost for spiredyktig ugrasfrø.

VKM risikovurderte videre planteskadegjørere og fremmede organismer i kompost og biorest. De konkluderte med at hygieniseringsmetoder som brukes på registrerte anlegg er tilstrekkelige for å forhindre spredning. Rotgallnematode (*Meloidogyne spp.*) ble dog nevnt som overlevelsesdyktig i begge prosesser og ved dens forekomst trengs temperatur på 70 °C i minst 60 minutter når partikkelstørrelsen er 12 mm. (VKM, 2021). Andre fremmede organismer og alvorlige planteskadegjørere som ble vurdert var parkslirekne (*Reynoutria japonica*), løkhvitvåte (*Sclerotium cepivorum*), potetkreft (*Synchytrium endobioticum*), gul potetcystenematode (*Globodera rostochiensis*), hvit potetcystenematode (*G. pallida*) (VKM, 2021). Biorest med planterester fra løk og potet kan behandles en time ved 70 °C eller 20 minutter under 3 bars trykk ved 133 °C for å hemme plantesykdommene knyttet til dem slik VKM anbefalte og fant som vanlig praksis (VKM, 2021).

3.1 Kompost

Kompost betyr «sammensetning» og kommer av å «komponere». I komposteringsprosessen skjer en mikrobiell omdanning av ferskt organisk materiale til næringsrik jord og humus (Van der Wulff *et.al.*,2016). Mikroorganismenes nedbryting gjør næringsstoffene tilgjengelig for plantene.

Resirkulering er obligatorisk i økologisk drift, oftest i form av kompost for plantemateriale, ettersom det er en del av en naturlig syklus der mikroorganismer bryter ned dødt organisk materiale under aerobe forhold, bilde 1. Det er mange fordeler ved bruk av kompost i dyrking, men også noen ulemper. Kompost inneholder mye organisk materiale som bidrar til bedre aggregatstabilitet, høyere vannholdende evne og større ledningsevne av kationer. Kompost øker dessuten det biologiske mangfoldet av bakterier, sopp og protozoer i jorda. Særlig kompostering med kompost-meitemark, vermikompost, utmerker seg med stort biologisk mangfold (Grand & Michel, 2020). Kompost reduserer jordbåren sykdom, idet disse patogenene konkurrerer med flere organismer om næring. Bruk av kompost vil i praksis sjelden regnes som plantevernmetode, men kanskje som forebyggende tiltak mot sjukdom, se senere i teksten. Kompost motvirker nedbryting og forringelse av jordaggregater som følge av intensiv vanning, forurensing, jordpakking og ev. frostsprengning.

Ulemper ved kompost kan være at det er tidkrevende å fremstille og energikrevende å findele, vende, sikte og transportere komposten. Umoden kompost kan hemme spiring av frø. Det kan inneholde uønskede stoffer som tungmetaller, makro- og mikroplast, virus og ugress. Det vil i verste fall si at kompostbruk kan medføre forurensing og ubalansert gjødsling (Grand & Michel, 2020).

Kompost skal ikke tilføres for å dekke plantens behov for nitrogen (N); da vil det bli tilført for mye fosfor (P) og gjødslingen vil resultere i en ubalanse. Kompost må heller tilføres som et middel til jordforbedring (Moebius-Clune *et al.*, 2016). Det kan også bli ubalanse mellom nitrogen og kalium (K) og ikke minst kan N fort gå tapt som gass eller ved utvasking (Tittarelli *et al.* 2016).



Bilde 2. Kompost tilføres som middel til jordforbedring. Her utlagt i november. Foto: Damaris del Rocio Vera Lara.

Ut fra 442 artikler om kompost fra tropisk og temperert klima er det konkludert med at best kvalitet av kompost oppnås der det inngår husdyrgjødsel og industriavfall fremfor husholdnings- og kommunalt avfall (Faverial *et.al.*, 2016). Det er dog ikke alle typer kompost og utgangsmateriale som er tillatt i økologisk drift. Gjødsel fra dyr i industrielt landbruk som burhøns og pelsdyr er utelukket. Treverk, inklusiv bark, som er kjemisk behandlet etter felling er også ekskludert. Det samme gjelder avløpsslam og husholdningsavfall hvis det inneholder for stor mengde tungmetaller (Erhart & Hartl, 2010; Anon., 2022).

I Norge må komposteringsanlegg godkjennes av Mattilsynet før det ferdige kompostproduktet kan omsettes. Slik godkjenning setter en rekke krav til behandlingsprosessen og rutineene for kompostering avhengig av hvilke utgangsmaterialer som inngår (Anon., 2003a; Anon., 2016).

Trevirkebasert kompost

Kompostens utgangsmateriale/substrat er avgjørende for kvaliteten av den. Prosjektet Hortic Blue C har sett på fordeler og ulemper ved bruk av ulike substrater i gartnerier. Generelt oppsummerer de at kvaliteten av kompost til dyrkingsmedium optimeres ved følgende tiltak: At man er omhyggelig med å velge rett råsubstrat, at man lar det modne lenge nok, at det er nok luft og lys under kompostering og lagring, at man senker pH ved å tilsette svovel og at man blander/fortynner det med mineralsk jord (Vandercasteele, pers.komm.). Prosjektet har sett på resirkulering av fem produkter som er rester fra produksjoner som skalldyr til mat, plantefibre fra trær og planter og vekstmedier som har vært brukt minst en gang. Medienes fysiske struktur, sjukdomshemming, ev. med inokulering av biokontrollerende organisme, næringsstoffer herunder mobilitet av nitrogen og biodiversitet har blitt vurdert. Bruken av bark i kompost og dernest trebasert kompost scoret høyt i SWOT-analyser og ble fremhevet som god erstatning for torv (Vandercasteele, pers. komm.).

Sammenliknet med kompost fra grønnsaks- og frukthage (grøntavfall) har trebasert kompost flere fortrinn. Slik kompost har lavere pH, lavere ledningsevne og mindre karbon og nitrogen. Den har god fordeling av porer til luft og bedre vannholdende evne. Konklusjonen fra prosjektet var derfor å anbefale at kompost fra grøntavfall brukes som gjødsel og trevirkebasert kompost brukes som vekstmedium. Sammenliknet med torv har trebasert kompost også fortrinn i form av at mikrobiell masse er fem ganger så stor som i torv. Torvforbruk i vekstmedier vurderes å kunne reduseres med 40 % ved bruk av trebasert kompost og 30 % hvis komposten i utgangspunktet er av bark, blodmel og kitin. Kitin er her synonymt med rester av skalldyr. De to sistnevnte komponentene gir signifikant økning av mikrobiell aktivitet (Vandercasteele *et al.*, 2022)

Kompost av trevirke har også ulemper – det inneholder mye karbon i forhold til nitrogen. Nitrogenet bindes i omsetningen istedenfor å være tilgjengelig som næring for plantene. Urteaktige planter har et mer passende C/N-forhold og fibre kan lettere findeles før kompostering slik at man oppnår større nitrogen-mobilitet. Fibre fra elefantgras, siv og linplanter har i et prosjekt blitt findelt ved ulike metoder og sammenliknet. Elefantgras hadde størst andel av mobilt nitrogen uansett prosessering. Ekstraksjon av karbon med vann ga minst mobilt nitrogen for siv og linplanter. (Vandercasteele *et al.*, 2018).

3.1.1 Kompost som sjukdomshemmer

Kompost antas å ha en sjukdomshemmende effekt av flere årsaker. Komposteringens termofile fase, hvor det utvikles varme, sanerer for patogener og ugrasfrø. Det vil si at komposten hygieniseres. Det spiller også en rolle at kompostens mikroorganismer avgir sekret med antibiotika som forsvar mot skadelige mikroorganismer. Kompostens mikroorganismer produserer også hormoner som fremmer planteveksten. Mangfoldet av mikroorganismer er avgjørende for hvor sterk sjukdomshemming det er tale om. Mikroorganismene konkurrerer innbyrdes om næring. Denne rivaliseringen betegnes som antagonisme og kan være til fordel for planteveksten, idet planteskadegjørere blir nøytralisert (Raviv 2016). Dessuten spiller tilstedeværelse av huminsyre en rolle i å hemme utvikling av enkelte jordbårne skadegjørende sopper (Neher, 2021).

En annen forklaring på at kompost hemmer utvikling av plantesjukdom fra jordbårne patogener er at når patogenene er mest aktive, tidlig i komposteringsprosessen, mangler de en plantevert å knytte seg til. Når komposten er moden og nye planter dyrkes er patogenene på et stadium hvor de er harmløse for kulturplantene.

Kompost har vist seg som den mest effektive hemmer av plantesykdommer sammenliknet med andre jordforbedringsmidler som husdyrgjødsel, fermentert husholdningsavfall, torv og skaldyrrester. I en oversikt viser kompost sjukdomshemming i mer enn 50 % av refererte tilfeller, mens planterester (jorddekke) viste det samme i 45 % av tilfellene (Doyle, 2017).

Kompostblanding, sammenliknet med andre vekstmedier, hvor det i alle var 70 % jord blandet med 30 % biorest, torv, kokosfibre eller trefiber, var vurdert som den mest sjukdomshemmende. Dette var utprøvd i agurk- og karsedyrking hvor en del av plantene var infisert med *Pythium ultimum*, og basilikum hvor en del av plantene var infisert med *Rhizoctonia solanum* (Fuchs *et al.*, 2017).

I tillegg til mangfoldet av organismene, avhenger sjukdomshemmingen av alderen på komposten og substratet i komposten. Substrat som bark er sjukdomshemmende (Vandercastele pers. komm.). I omtalte bioassay med agurk-, karse- og basilikumdyrking var den yngste komposten en mer effektiv sjukdomshemmer enn den fire uker eldre komposten. Det tilskrives bakteriefaunaen som i den unge komposten bestod av *Aeromonas* arter mens den eldre var dominert av *Enterobacter* (Fuchs *et al.*, 2017).

3.2 Biorest

Biorest er råtnerest i fast eller flytende form etter en anaerobisk prosess i biogassanlegg, med andre ord den gjenværende massen etter at biogassen er tatt ut. Utgangsmaterialet for biogassproduksjonen kan være f.eks. husdyrgjødsel, park- og/eller husholdningsavfall. I Norge er det fortrinnsvis husdyrgjødsel som brukes til biogassproduksjon i gårdsanlegg, mens park- og/eller matavfall hovedsakelig behandles i kommunale anlegg (Hvitsand & Kleppe, 2011). Til økologisk landbruk er det ikke tillatt å tilføre biorest basert på råvarer som slakteavfall fra burhøns, fjørfe som har fått fôr med koksidiostatika, fra pelsdyr eller kloakk eller fiskeslam. Biorest etter husholdningsavfall må dokumenteres å inneholde mindre enn grenseverdiene for tungmetaller (se tabell 3) (Anon., 2022). Biorest har i noen tilfeller vist seg å inneholde sink og kobber over

gjødselveriforskriftens grenseverdier (Johansen m.fl., 2015). Praksis har dog vist at plantekultur gjødslet med biorest kan ha vanskelig for å oppta nok sink, idet den kan bindes til fosfor i jorda (Brod & Haraldsen, 2017). Sink i biorest er etter hvert blitt minimert i takt med at sink som medikament mot diaré hos husdyr er blitt mindre brukt. Kobber har tidligere inngått i fôr til gris og ku, men er per i dag redusert eller fjernet (Eriksen & Jespersen, 2023). Fiskefôr og følgende biorest fra fiskeslam holder fortsatt problematisk høyt nivå av sink og kadmium, svarende til kvalitetsklasse II (se tabell 3) (Brod, 2023). Konsistensen av bioresten kan være kladdet og vanskelig blandbar med jord, særlig hvis tørr og flytende del ikke er separert, derfor kan kompostering være en gangbar vei før bioresten brukes som dyrkingsmedium (Brod & Haraldsen, 2017). Separert biorest til enten flytende konsistens med 6-7 % tørrstoff eller fast med 25-30 % tørrstoff er enklere å håndtere som gjødsel.

Gjødsleffekten har flere positive sider: Den hever pH, inneholder mer plantetilgjengelig ammoniakk enn bløtgjødsel og resulterer i en bedre utnyttelse av nitrogenet enn ved tilføring av grønn gjødsel. C:N -forholdet er lavere enn i bløtgjødsel og omsettes derfor kjappere til plantetilgjengelig nitrogen. Dessuten får jordlivet på lang sikt nytte av karbon som resirkuleres, men spretthaler og meitemark tåler ikke store mengder av ammoniakk. (Serikstad, 2016). Kortsiktig effekt på jordliv avhenger av dosering; ved stor dose har tilførsel dødelig effekt på meitemark som lever på og nær overflaten, mens spretthaler og mikroorganismer påvirkes i liten grad av tilførsel av biorest. Kortsiktig og langsiktig effekt skjernes ved effekt før eller etter to år (Johansen *et al.*, 2015).

Næringsstoffene er til stede i bioresten i samme innbyrdes prosentvise forhold som i utgangsmaterialet. Danske målinger på 16 anlegg konkluderer med at innholdet av fosfor er på ens nivå, mens kalium- og ammoniakkinnholdet fluktuerer (Eriksen & Jespersen, 2023). Dosering av biorest som gjødsel er sikkert av samme grunn korrelert til plantenes fosforbehov (Brod & Haraldsen, 2017). Analyser av 33 ulike marint baserte biorester (både slam og ensilasje) viste dog at forholdet mellom innhold av fosfor, nitrogen og kalium ikke passer til de fleste planters behov. Derfor kan gjødsling dosert ut fra fosforbehov føre til overgjødsling, og dosering bør heller styres etter grenseverdiene for sink og kadmium som er målt etter bioforgassing (Brod, 2023).

Man skal dog ikke se helt bort fra jordforbedringseffekten. For eksempel fant Pommeresche og Rittl at fast biorest, biokull og hestegjødsel økte jordas inn av organisk materiale med 4-8 % i forhold til når det ikke tilføres noe gjødsel. Mengden av organisk materiale før tilførsel spiller dog likeså stor rolle som klima og temperatur. Hvis nivået er 12% organisk materiale (OM) eller mindre ved tilførsel blir effekten prosentvis høyere, og effekten av tilførsel dermed større. Hvis nivået fra før er over 6-8 %, vinner man dog ikke så mye agronomisk sett på denne jordforbedringen (Pommeresche & Rittl, 2023).

En ulempe, som også bør nevnes er, at det ved biogassing av matavfall levert i plastposer kan forekomme plastrester og at matrester kan inneholde høyt nivå av kjøkkensalt, NaCl, som er skadelig for planter (Brod & Haraldsen, 2017). Plastkvaliteten er dog i endring, PFAS-komponenten utelatt og dermed er ulempen minimert, hevder Laursen & Hermansen (2023). De fremhever dog at leveringsavstand til biogassanlegg ikke bør være mer enn 20 km for å holde produksjonen økonomisk rentabel (Laursen & Hermansen i Eriksen & Jespersen, 2023). De forklarer også at bioresten fra anlegg hvor kun husholdningsavfall og husdyrgjødsel er brukt har en passe konsistens og gjødselverdi tilsvarende bløtgjødsel fra svinehold. Dessuten er biogassing en anaerob prosess og erfaring har vist at biomassen fortsetter å være anaerob også etter biogassprosessen. Det er ikke bra for

planterøttene, men annet grøntavfall kan gi struktur og bedre oksygenforholdene i substratet (Brod & Haraldsen, 2017). Det betyr at bioest med fordel kan komposteres som etterbehandling etter biogassanlegg og at dette hever den fysiske jordkvaliteten. Dog må det i denne sammenheng også nevnes at andre forskere ser kompostering av bioest som et problem for klima idet bioest kan gi høyt utslipp av drivhusgassene lystgass og metan (Bente Føreid, pers. komm. 16.6. 22). De nitrøse gassene, eller flytende nitrogen trenger dog ikke utgjøre noe problem i et lukket system som et veksthus, mener andre; tvert imot kan plantetilgjengelig nitrogen være en stor fordel for veksthuskulturer med kort og intensiv vekst, særlig ved oppstart av en kultur. Fruktkulturer som tomat trenger nok i flere tilfeller mer tilførsel av kalium enn det som tilføres ved bioest (Tittarelli *et al.*, 2016).

3.3 Biokull

Biokull er trekull med over 50 % karboninnhold (Bysveen, 2021). Biokull forekommer naturlig i jord: 1-5 % i nordlig, boreal skogsjord og i varierende grad i landbruksjord i temperert klima fra 5- 45 % (O`Toole, pers.komm.). Kulturpåvirket jord i Amazonasbeltet, i Sør-Amerika, inneholder 9% biokull og kalles *Terra preta de indio* (Pommeresche *et al.*, 2021). Biokull fremstilles ved «forbrenning» uten mye oksygen ved høy temperatur – også kalt «pyrolyse». Industriell produksjon av biokull skjer fra halm i småbiter, treflis, kjøttbein og/eller gjødsel fra høns og hest med mye fiber, ved 350 - 800 °C. Returvirke av behandlet tre og avløpslam kan også være råstoff, men det er ikke aktuelt for bruk i økologisk landbruk. I prosessen blir det både biokull og varmeenergi i form av gass og væske. Omdanning ved lavest mulig temperatur gir størst andel av kull (Thomassen *et al.*, 2017). Karbonet i biokull er mindre tilgjengelig for jordas mikrober og dermed blir karbonet lagret i jorda lenger tid (O`Toole, pers.komm.). Biokulls største fortrinn er derfor som klimatiltak. Effekten av biokull til karbonbinding vurderes som to-tre ganger mer klimaeffektivt enn planting av ny skog. Effekten som jordforbedring er størst i jordtyper med lite næring og lite humus (Thomassen *et al.*, 2017).

Hvis det er tungmetaller i utgangsmaterialet, konsentreres forekomsten etter pyrolyse og derfor er ikke alle typer fiber egnet for prosessen. Slam regnes for uegnet. Biokull binder også tungmetaller til seg hvis det fins i jorda fra før. Dermed kan det rehabilitere forurenset jord. Ettersom det har en stor overflate og karbonatomer og andre stoffer bindes kraftig, er det en fordel å kombinere biokull med organisk materiale som fortere har plantetilgjengelig næring (Pommeresche *et al.*, 2021). I tilfelle der biokull ikke er blandet, kan det immobilisere flytende plantenæring ved at det bindes til overflaten av biokullet. Biokull har høy pH-verdi og gir dermed en viss kalkingseffekt (Grøtta, 2020). Når biokull blandes med næringsrikt stoff kalles det å «lade» eller «coate». I motsetning til torv som holder på kalium, er biokull en kilde til kalium, fosfor og salter til plantenes næringsforsyning (Visser, pers. komm.). Biokull av hønsegjødsel utmerker seg med høyt innhold av fosfor; tilvirket fra halm vil det være høyt innhold av kalium (Thomassen *et al.*, 2017).

Biokull har tilsvarende høy porøsitet og stor overflate som torv (Visser, pers. komm.). Biokull kan delvis erstatte torv i noen vekstmedier (Grøtta, 2020).

3.4 Grønngjødsel

Grønngjødsel er levende dekkvekster som vokser på stedet og moldes ned. De kan være sådd etter hovedkulturen og fange opp overskytende næring. I den sammenheng kalles de ofte fangvekster. I litteraturen finnes termen «grønngjødsel» samlende uansett materialets livsstatus, bruksmetode og formål.

Grønngjødsel har i tillegg til en verdi som gjødsel, også verdi i forebygging av ugrasproblemer. Omsetning av grønngjødselen bør skje på jordoverflaten med gode oksygenforhold, eller rett under overflaten. Kløver eller andre belgvekster er velegnet siden disse er i symbiose med nitrogenfikserende bakterier som tilfører jorda ekstra nitrogen. Planteartene i grønngjødselblandingen bør ikke være nært beslektet med hovedkulturen (Debio 2016).

Et kanadisk forsøk i veksthus med agurk dyrket i avgrenset høybed, sammenliknet mikroliv under fire forskjellige typer jorddekke/grønngjødsel. I det første forsøket ble jorddekke sammenliknet med plast, kokosfibre, voksende rød- og hvitkløver og ruccola. Respirasjonen fra jordorganismer var størst under plastdekke. Elektrisk ledningsevne var større under levende grønngjødsel sammenliknet med under kokosfiber, kanskje fordi gjødsel ikke fikk bra kontakt med mikroorganismer i bed med kokosfibre. De levende grønngjødsel-plantene ga ingen effekt på mikrolivet etter fire måneder, kanskje hadde det vært annerledes om de hadde fått mer lys og dermed hadde utviklet seg mer. De fire typene jorddekke/grønngjødsel ga ingen forskjell i fruktkvalitet eller -mengde på hovedkulturen agurk (Dorais *et al.*, 2016).

3.5 Jorddekke

Jorddekke kan enten være levende eller dødt materiale. Organisk avklipp som er tilført på overflaten av jorda kalles på engelsk «cut-and-carry», altså «klipp og flytt»-grønngjødsel, som beskriver prosessen godt (bilde 3). Bruk av jorddekke tjener foruten formål med gjødsling, også til å skygge bort ugras som spirer, forebygge skorpedanning og til å redusere fordamping fra jorda og kulturplantene (evaporasjon). Et dansk forsøk med flerårige og ettårige erteblomstrede arter konkluderte med at det fra de flerårige artene kan høstes 4-5 kg N og fra de ettårige rundt 2 kg N per dekar på ett år. Det ble høstet mellom to og fire ganger i sesongen der plantene var i starten, midten (rett før blomstring) og slutfasen av livssyklusen. C/N-forholdet økte suksessivt med alder; den beste nytte av nitrogenet frigjort til hovedkulturen får man ved å klippe i starten og midten av dekkvekstenes utvikling. De flerårige artene i forsøket var luserne, hvit- og rødkløver og kløver/grasblanding. De ettårige artene var hestebønne, lupin og ert. De ettårige måtte sås på ny etter høsting. Det nevnes ikke hvilke hovedkulturer jorddekket er lagt under, men beskrives generelt som relevant for alle høy-verdi kulturer (Sørensen & Grevsen, 2016).



Bilde 3. Gras/kløverblanding kan være "cut-and-carry"- grønn gjødsel og jorddekke. Foto: Susanne Friis Pedersen

Halm kan brukes som jorddekke og tilføre jorda god struktur etter hvert, bilde 4. Halm fra konvensjonelt korn sprøytet med ugrasmidler hvor aktivt stoff er klopyralid eller aminopyralid bør dog unngås. Planterveinguiden omtaler bruk i veksthus og kompost som problematisk. Særlig noen kulturvekster reagerer negativt på slike plantervernmidlerester. Dette gjelder i Norge midlene Ariane S, Mustang Forte, Matrigon og Lancelot (Planterveinguiden, 2023; McKinnon m.fl., 2021).

Jorddekke kan infisere med patogener, oftest *Verticilium*, *Fusarium*, og *Phytophthora* (Doyle, 2017).



Bilde 4 Halm brukt som jorddekke under tomat. Foto: Susanne Friis Pedersen.

Faktaark fra prosjektet GreenResilient oppsummerer følgende fordeler og ulemper ved å legge inn jorddekke i veksthus i tabell 4. Ulempene er nevnt som potensiell risiko eller utfordring. Det betyr at jorddekke i noen tilfeller kan ha ulemper.

Tabell 4. Fordeler og ulemper ved jorddekke i veksthus. Bearbeidet etter Hauenstein et al. 2021.

Fordeler ved jorddekke	Risiko og utfordringer ved jorddekke
Vedlikehold av humusnivå og jordstruktur	Import av flerårig ugras og ugrasfrø
Støtte mangfoldet av jordorganismer	Infeksjon av snegl
Øke biologisk aktivitet i veksthusets jord	Gode forhold for mus
Reduserer varmestråling og fordamping	Immobilisering av nitrogen
Redusere vanningsbehov	Sakte omsetning pga. lavere jordtemperatur kan gi forsinket mineralisering av næringsstoff (plantetilgjengelig næringsstoff)
Forebygge problem med forsaltning og skorpe på jordoverflaten	Kjapp omsetning kan gjøre luking og tilføring av mer jorddekke nødvendig
Buffer mot ekstrem temperatur	Sviskader på bladene pga. nitrøse gasser
Bidra til plantenæring på kort og lang sikt	Større arbeidsbelastning og omfang (sett i forhold til plast som jorddekke)

Praktiske overveielser før man legger inn jorddekke i veksthus er derfor valg av hvilke planter som skal brukes. Det går på innhold av cellulose og lignin som har betydning for plantetilgjengelig nitrogen og det aktuelle behovet hos kulturplantene. Flere av de nevnte ulempene i tabell 4 kan man styre utenom ved å ta høyde for alder og frøutvikling på jorddekket, som spiller en rolle for utvikling av de treaktige stoffene og samtidig for om det er spiredyktige frø i jorddekket. Tidspunktet for innlegging av jorddekket har betydning for om nitrøse gasser utgjør en risiko (Hauenstein et al, 2021).

3.6 Patogener i veksthus

Patogener er organismer som fremkaller sykdom, fytopatogener er de som fremkaller sykdom på planter. Sopp kan opptre som patogen ved å være parasitt på en plante, planteverten, i visse livsfaser og være til stede i jorda, jordbåren, i andre livsfaser. De tre verste patogener i veksthusjord er *Rhizoctonia spp.*, *Phytophthora spp.* og *Pythium spp.* (Neher, 2021).

Rhizoctonia solani kan gi svartskurv eller rotfilsopp. Den kan påvises ved dyrking av reddik i fire uker med opptelling av spirer som visner bort. Det er en mye billigere og enklere test enn DNA-test. Kompost med meitemark sanerer til en viss grad infisert jord. Forekomsten er oftere sett etter gjødsling med hønsemøkk (Neher, 2021).

Rhizoctonia solani fins i all kulturjord og har et stort vertsregister blant prydplanter, grønnsaker og potet. Kålvækster og andre i korsblomstfamilien regnes for mest utsatte for soppskade (Sundheim et al., 2017). Symptomene varierer med hvilken vertsplante de fins på; på potet er de kjent som svartskurv, på andre vekster som rotfilsopp. *Rhizoctonia* hemmes ved at nyttige bakterier som *Bacillus megaterium* og *Pseudomonas fluorescens* er til stede og motvirker skadegjøreren. Disse er

sannsynligvis til stede om jorda har bra luftforhold og bra moldinnhold med kompost og husdyrgjødsel (Pommeresche & Swensen, 2011).

I en norsk oversikt for plantehelse nevnes for veksthuskultur at det trengs effektive tiltak for å begrense *Pythium* og det gjenstår å undersøke om smittsomme virus i tomat og agurk kan følge kompost (Hermansen & Aamlid, 2019).

Patogener knyttet til tomat og agurk

Phytophthora spp. har et bredt vertsplantespekter på kålplanter og pryddplanter i veksthus. Den kan gi margråte i jordbær, men kan også gjøre skade på agurk- og tomatplanter, blant annet bukkeøye (på tomat) og tørråte (på agurk og tomat) (Neher 2021; Toppe, 2013). Symptom på tørråte med brune flekker på blad er kjent fra potet, men utvikles også på tomat, da de begge er i søtvierfamilien. Vekstskifte og avstand mellom de to artene er tilrådelig. Forebyggende biologisk jordforbedring kan også ha effekt ifølge Plantevernleksikonet (Toppe, 2013).

Phytophthora og *Pythium* er nært beslektet (Toppe, 2013). *Pythium* kan fremkalle rothalsråte, rotbrann og fallesyke hos unge planter. Den forekommer særlig der det er dårlig drenering i jorden og ved temperaturer over 20 °C. Rotsykdommene opptrer oftere i dyrking av agurk fremfor tomatdyrking (Anon., 2013). *Pythium* i agurkdyrking kan hemmes ved bruk av kompost med granbark (Raviv, 2016).

I tomatdyrking er patogenet *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici* problematisk i noen tilfeller; men den kan også være til gagn. Noen *Fusarium*-arter kan forårsake råte i rot, stengel eller gi visnesjuka i hele planten. Andre *Fusarium*-arter kan hemme de skadegjørende (Van Bruggen *et al.*, 2015). I forsøk med økologisk versus konvensjonell tomatdyrking ble det sammenliknet sjukdomshemming av *Fusarium oxysporum f.sp. lin.* Artsmangfoldet varierte ikke mellom de to driftssystemene, kanskje fordi det var drevet økologisk bare i to år. Praktis i det økologiske veksthuset var tilførsel av jorddekke med graskløver og ettervekst med vikke og rug som ble innarbeidet i bakken før tomatdyrkingssesongen. Halvparten av linplantene ble inokulert med patogenet. De ikke-smittede forble friske i både økologisk og konvensjonelt drevent veksthus. Symptomer hos de smittede plantene oppsto samtidig i begge systemer, men utviklete seg fortere i det konvensjonelle og ble mer alvorlig der. *Fusarium oxysporum f.sp. lini* hemmes mer ved tilførsel av kompost enn ved tilførsel av planterester som graskløverblanding. Tilførsel flere ganger av små mengder er gunstigere enn tilførsel en gang av stor mengde. Den sjukdomshemmende effekten assosieres med forekomst av ikke-patogen *Fusarium*, actinomyceter og oligotrofe bakterier (Van Bruggen *et al.*, 2015).

Prosjektet GreenResilient hadde veksthusforsøk i fem europeiske land hvor alle hadde henholdsvis mono- og polykultur. Det var fokus på dyrkingssystemets sjukdomshemming av *Fusarium*. Resultatene sprikte noe fra land til land og generelt viste det seg vanskelig å påvise endring i mikrobiomene bare etter to år. I det italienske veksthuset utgjorde det ikke noen forskjell for forekomsten om jorda var sterilisert, vanlig eller jordforbedret. I det franske veksthuset hadde ikke-inokulerte tomatplanter høyere fersk- og tørrvekt uansett dyrkingssystem og vekstskifte. I det danske veksthuset viste det seg at arts mangfoldet av mikroorganismer ble redusert ved å dyrke monokultur som tidligere, mens vekstskifte med samdyrking og flere arter reduserte forekomsten av *Fusarium* lite (Rosberg *et al.*, 2021). *Fusarium* i tomat-, melon- og agurkdyrking hemmes av kompostert kugjødsel (Raviv, 2016).

3.7 Biostimulanter som jordforbedrer og sjukdomshemmer

Biostimulanter, eller planteforsterkere, er jordforbedringsmidler som består av ulike organismer og stoffer. Samtidig som de forbedrer jordkvaliteten, har de gjerne en positiv effekt på plantevekst og hemmer patogener. I mange tilfeller er dette vanskelig å dokumentere. Derfor er det viktig å fremheve at effekten er mest tydelig om det er en stresset eller forurenset jord; hvor det er mye solinnstråling; hvor plantene er stresset ved ekstreme temperaturer, for mye eller for lite vann, salt eller om det er tale om ny oppdyrking. Hvis det er jord, hvor det er tilført husdyrgjødsel over flere år, har bruken av biostimulanter liten effekt. Dosering, teknikk ved tilførsel og frekvensen av tilførsel har foruten innholdet også betydning for effekten (Samuelsson, 2021).

Hvilken form biostimulantene forekommer i og tilføres i betyr også noe. Det kan være enten fast, flytende eller frysetørket form (Symnaczyk *et al.*, 2020). Årsaken til at biostimulantene virker er ofte biologiske mekanismer. I Sverige er det erfaring med at en fysisk effekt først er synlig etter fire til fem uker. I subtropisk eller tropisk klima vil man se effekten forttere (Samuelsson, 2021).

Biostimulanter kategoriseres som mikrobielle og ikke-mikrobielle. De mikrobielle er bakterier og sopp, begge grupper er viktige i jordliv og omtales derfor også i etterfølgende kapittel. De ikke-mikrobielle er råvaremateriale og råekstrakter, hydrolysater og isolerte emner av for eksempel proteiner, tang eller kompost (Rouphael & Colla, 2020). Betenkelighet ved slike ekstrakter kan være forurensning av utgangsmaterialet fra industri og landbruk; for eksempel pesticider, tungmetaller og medisinerester. Dessuten kan tilgjengelighet, lagring og pris være en hindring for implementering av biostimulantene (Rouphael & Colla, 2020). I økologisk drift må man følge positivlister over godkjente drifts- og gjødselsmidler.

Mikroorganismer kan også ha mange positive effekter, som å kompensere for jordtørrhet, bidra til plantenes næringsopptak, forebygge erosjon og ikke minst fremme karbonbinding. Et komplekst og mangfoldig mikrobefunn er essensielt utgangspunkt for robusthet. Mikrobefunnet får større andel av nyttige organismer når driften er mer allsidig (Schachian-Tabrizi, pers. komm.).

Kompostbaserte biostimulanter grenser til ikke-mikrobielle preparater og kan være kompost-te eller probiotika basert på for eksempel næring eller fytohormoner. Virkingen avhenger av kompostens modenhet, innhold og utgangsmateriale. Andre råvarematerialer kan være basert på alger og her er dosering et viktig moment samtidig som kulturplantens utviklingstrinn er avgjørende for virkingen.

Hydrolysater kan være basert enten på proteiner, humus eller biopolymerer. Hydrolysat av biopolymerer kan være av kitin fra rekeskall, lignin eller stivelse. Enkeltstående isolerte emner deles i organiske som thiamin, betain, fenoler og de uorganiske som kobolt. Sistnevnte er myntet på erter for å forebygge tørkestress (Samuelsson, 2021).

Effekten av bakterier knyttet til plantenes rotsone, rhizobakterier, er påvist å skjerme planten mot skadegjørere, men er best i kontrollert miljø og når den er tilpasset kulturen (Samuelsson, 2021). Bakterier kan også bidra til plantehelsen ved å frigjøre fosfor eller fikserer nitrogen til plantens næringsopptak. Fosforoppløsende bakterieslekter er *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lactococcus*; nitrogenfikserende bakterier er *Azobacter* og *Azospirillum* (Enni, 2022).

Sopper som arbuskulær mykorrhiza har best effekt der det ikke gjødsles med mineralgjødsel, i tillegg trengs det lys for at soppen ikke skal hemme kulturen. Arbuskulær mykorrhiza fins ikke fritt i jorda uten en plantevert i nærheten. Den forhandles i pulverform til stimulering av frøspiring eller rotdanning etter ompotting. Positiv effekt på avling og kvalitet av veksthustomat er veldokumentert (Enni, 2022).

Sopp som parasitterer på annen sopp, en såkalt hyperparasitt, regnes for sjukdomshemmende, fordi det er til fordel for planteveksten. Det mest kjente eksempel på hyperparasitt er soppen *Trichoderma*, som mange velger å fokusere på - men mangfoldet er ifølge andre viktigere enn tilstedeværelse av en art (Neher, 2021). Kompostert elefantgras, siv og linplanter koloniseres kjapt av *Trichoderma*, *Chaetonium* og *Gliocladium* som hemmer patogener og *Metarhizium anisopliae* som begrenser insekter (Vandercasteele *et al.*, 2018).

4 Jordliv

Det anslås at 25 % av biologisk liv på planeten fins i jord. Mange organismer lever hele livet i jorda. Noen organismer har bare deler av livssyklusen nede i jorda. Det gjelder f.eks. mange insekter, deriblant viktige pollinatorer og andre nyttedyr, har f.eks. livsstadier som egg, puppe eller larve i jord. Jordbakterier er en stor og allsidig livsgruppe som er sammenkoblet med menneskers og dyrs helse for, eksempel i forbindelse med immunsystemet. Det samme gjelder soppkulturer hvor det kan nevnes at antibiotika som penicillin stammer fra jordboende sopp (EU, 2021a). Av disse grunnene har prinsippet «one health» kommet fram, hvor det å ta vare på jord og jordliv er av betydning for fremtiden. Det utvider også plantevernet, fra fokuset på forholdet mellom vertsplante og patogen, til et perspektiv som omfatter miljøet rundt plantekulturen.

Biologisk liv i og på jorda kategoriseres i fem trofiske nivåer (Moebius-Clune *et al.*, 2016):

- Nedbrytere og parasitter – meitemark, bakterier og sopp
- Predatorer – protozoer, nematoder, antropoder
- Høyere predatorer – nematoder, antropoder
- Enda høyere predatorer – fugler, pattedyr

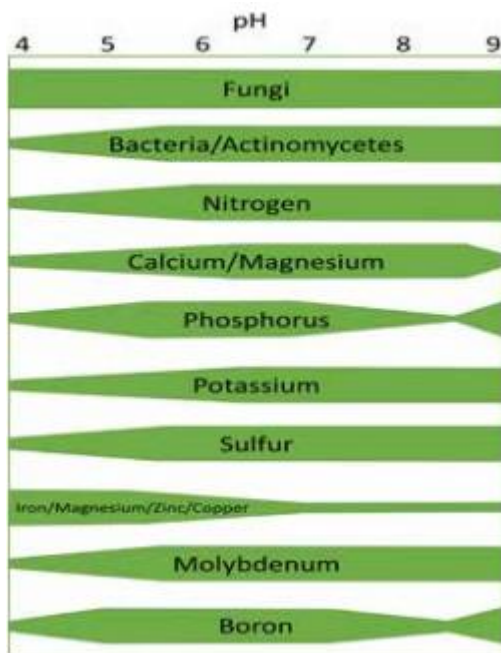
Levetid for organismene på de ulike trofiske nivåene varierer fra timer til dager og år. Jo høyere trofisk nivå – jo mer stabilt vil organismene være til stede. Jo lavere trofisk nivå – jo mere liv er det potensiale for. Fugler og pattedyr er ikke aktuelt i denne rapporten.

Prosjektet GreenResilient analyserte forekomst av nematoder. Disse har lengre levetid enn sopp og bakterier og nærer seg enten på bakterier, sopp, snegl, larver eller planter. De kan dermed opptre både som skadegjørere og nytte-rovdyr. Nematoder er mer typiske å finne etter et par års dyrking, og mer sensitive for endringer i jordklimaet enn annet jordliv, ettersom de ikke har en skjermende kroppsoverflate. Prosjektet gjennomførte forsøk i veksthus i fem europeiske land: Belgia, Danmark, Frankrike, Italia og Sveits. Nematodesamfunn ble vurdert før, halvveis og på slutten av forsøkene i prosjektet. Resultatene indikerte at nematodesamfunn bestående av flere arter, gjøre planteparasitterende nematoder, som *Pratylenchus penetrans*, harmløse for kulturplantene pga. antagonismer i jordlivet (Wayenberge *et al.*, 2020). Andre undersøkelser har sammenlignet nematodesamfunn under eplehager og i kløvermark i norske prosjekter om jordtrøtthet. Epleproduksjon har tilsvarende lite arts mangfold og manglende vekstskifte som noe veksthusproduksjon. I eplehager med økologisk drift ble det påvist flere bakterie-etende og flere altetende nematodearter, men færre rot-parasitterende nematodearter. Statistisk materiale var dog for lite til klare konklusjoner (Magnusson m.fl., 2020). Fra undersøkelser av nematoder i kløver, konkluderes det med at vekstskifte er et viktig tiltak for å hemme oppformering av skadelige nematoder (Serikstad, 2017).

Bakterier er oftest mest aktive tidlig i omdanningsprosesser hvor de konkurrerer med sopper om lett tilgjengelig næring (frie aminosyrer og karbohydrater). Sopp innvirker positivt på plantevekst ved å regulere patogener, stabiliserer jordas fysikk og støtte næringsopptak til plantene.

Sopp kan være i symbiose med planterøtter, dette kalles mykorrhiza eller sopprot (Pommeresche & Joner, 2011). Soppen kan enten være til stede inni eller utenpå planterøttens celler (endo- eller ektomykorrhiza). Blant endomykorrhiza er den buskformete dvergarten av arbuskulær mykorrhiza

svært nyttig for urteaktige kulturplanter og bidrar til å øke plantenes område for næringsopptak (Pommeresche & Joner, 2011). Tilstedeværelse av bakterier er vanligere i jord med pH over 5, men sopp kan tilpasse seg et større spekter på pH-skalaen, figur 2 (Moebius-Clune *et al.*, 2016).



Figur 2. Tilstedeværelse og tilgjengelighet av sopp, bakterier og næringsstoffer ved varierende pH-nivå. Etter Moebius-Clune *et al.*, 2016

En kilde til liv i jorda er organisk karbon, C, som tilføres fra dekkvekster, kompost, fast husdyrgjødsel og biorest (Moebius-Clune *et al.*, 2016). Tilførsel av ulike typer gjødsel over tid er viktig for karboninnholdet i jorda. Det viser et gjødsselforsøk i 17 år med overvåking av jordlivet. I tillegg til et 0-ledd ble det dyrket korn gjødslet med enten fire ulike typer organisk gjødsel (kompost, kugjødsel, høy, slam) eller to typer mineralgjødsel. De ulike gruppene av jordorganismer reagerte ulikt på gjødslingen: Bakterier og meitemark reagerte positivt på organisk gjødsel; sopp og nematoder reagerte positivt på alle typer gjødsel; for springhaler og midd var det ikke forskjell på ugjødslet og gjødslet jord, utenom at det ble registrert flest springhaler i jord gjødslet med slam. Meitemark er den jordorganismen som mest direkte reagerer på tilført organisk materiale, idet den ernærer seg direkte av det, særlig hvis det er finkelte partikler under 3 mm. Organisk gjødsel har en umiddelbar effekt på jordlivet i samme sesongen som den tilføres, men avhengig av lignin-innhold kan det også ha en ettervirkning i følgende sesonger. Evalueringen var gjort ut fra artsmangfold og målt biomasse. (Viketoft *et al.*, 2021). Mikrolivet i jord vurderes samlet ut fra mengde, mangfold, aktivitet og funksjon. Dette gir samlet utslag i vekstmediets motstandskraft og robusthet overfor stress og endringer. Dette har også betydning for hvilke økosystemtjenester som frembringes.

4.1 Måling av jordliv

Artsmangfold, biomasse, spredning og aktivitet kan måles med forskjellige metoder. Noen muligheter presenteres her. Målingene gjøres ut fra ulike behov og formål med ulik nøyaktighet. Det kan gjøres fordi man ønsker mer kunnskap om samspillet mellom jord og planter eller effekten av tiltak i drift. Det kan også vise uhensiktsmessig sammensetning, herunder forekomst av skadelige organismer og behov for poding. Metodene påviser direkte eller indirekte mikrolivet og/eller miljøet (Pommeresche & Rittl, 2022a).

Haneys index av indikatorer for måling av jordliv omfatter: Respirasjon, plantetilgjengelig N, omsatt C, konsentrat av næringsstoffer (Rinot *et al.*, 2019). Respirasjonstest kan gjøres med utstyr fra Solvita®. Testen er utviklet i USA, men lite kjent i Europa (Pommeresche & Rittl, 2022b). Testen skjeller ikke mellom sopp og bakterier.

Flere metoder for måling av jordliv

MicroBiometer® er en metode som viser omfanget av mikroliv og måler forholdet mellom sopp og bakterier. Dette bestemmes ut fra jordvannets farge på en definert fargeskala. Andelen av sopp skal gjerne være over 50%, fordi det vitner om stabilitet og god jordhelse (Pommeresche & Rittl, 2022b).

Mengden og mangfoldet av mikroliv kan måles ved respirasjon eller fosforlipider, men det kan være vanskelig å tolke disse målingene (Neher, 2021). Mann *et al.* mener at innhold av fosforlipidfettsyrer (PLFA) viser forskjeller i driftsform og helsestatus (Mann *et al.*, 2019).

Matpinner («Bait lamina stick») er en metode som brukes for å undersøke nedbryting av organisk materiale i jord samtidig som det indirekte sier noe om aktiviteten og mengden jordliv (Kratz, 1998). Nedbrytningshastigheten kan også bestemmes ved et tepose-eksperiment over tre måneder, der det graves ned pose med rød og grønn te i det øverste jordsjiktet. Rød te brytes langsommere ned enn grønn te. Tepose-eksperimentet er utviklet for å si noe om jordlivets aktivitet, men også for å si noe om karbonbinding i jord (Sarneel *et al.*, 2016).

Andre metoder er: Dyrking av bakteriekultur, fettsyreanalyse (f.eks. PLFA), enzym-aktivitet, RNA- eller DNA-analyser. Bakteriekultur kan bestemmes for de fire store gruppene: Actinobakterier > Firmicute > Proteobakterier > Bakteroider. Gruppene tilstedeværelse viser for eksempel om miljøet enten er aerobt eller anaerobt, surt eller basisk; og hvilke funksjoner som kan forventes. De fire bakteriegruppene bryter ned organisk materiale på ulike måter: Råtneprosess, fermentering/gjæringsprosess eller mineralisering (Pommeresche m.fl., 2020). For å oppnå jordhelse foretrekkes en aerob mineralisering. Genetiske analyser av RNA og DNA vitner om arts mangfoldet, men viser ikke nødvendigvis om artenes aktivitet. Noen arter kan for eksempel være til stede i en livsfase hvor de ikke påvirker plantehelsen.

5 Oppsummering

Jordhelse og jordforbedring henger tett sammen. Jordforbedring gjennomføres for å få bedre jordhelse. Begge begreper blir enklere å håndtere om de deles opp i fysisk, kjemisk og biologisk kvalitet, men ikke alle aspekter ved jordhelse og jordkvalitet kan deles inn slik. Jordas funksjoner der den inngår i en større enhet som et økosystem, er relevant, men er vanskelig å kategorisere i fysiske, kjemiske eller biologiske aspekter. Økosystemtjenester hvor jordfunksjoner inngår deles heller opp i støttende, regulerende, forsynende eller kulturelle tjenester. Dette er tidligere beskrevet på landskapsnivå, men beskrivelse av økosystemtjenester kan også benyttes til økologisk veksthusproduksjon. I veksthus kan slike tjenester omfatte sidegevinster til nytte for helse, avling og økonomi. Gartneren må avpasse ressurser, mål og status for jordhelse slik at det balanseres i bedriftens daglige virksomhet. Tiltak for å bedre jordkvaliteten kan umiddelbart synes unødvendige om de ikke raskt virker inn på avling og gir økonomisk avkastning. Rapporten omfatter beskrivelser av bruk av kompost, biokull, biorest, to typer av grønngjødsel og kort om mikrobielle og andre typer biostimulanter.

God økologisk drift handler i hovedsak om å forebygge skade av ulike organismer og om å tenke helhetlig for bedriften. Det gjelder å ha et robust system fremfor å satse på enkeltstående tiltak. Forskningsmessig kan det dels være utfordrende og tidskrevende å jobbe på «systemnivå». Skadelige organismer blir sjelden et problem om det er et stort mangfold av både «gode» og «skadelige» organismer. Likevel er det nødvendig å skjelne mellom «verstinger» og «harmløse» relatert til hovedkulturen i veksthuset. Kjennskap til og bruk av mikroorganismer med et motsetningsforhold til «verstingene» kan være en metode til å oppnå et robust dyrkingssystem. Isolert *Trichoderma* er tillatt i økologisk drift i flere land, men forskning viser at bruk av god kompost er en nøkkel for å sikre et allsidig mikroliv. I tillegg er det et billig alternativ til kostbare preparater.

Tilførsel av organisk materiale er viktigst hvor jorden i utgangspunktet inneholder lite karbon. Der det er passe innhold kan det svare seg å se på redusert jordbearbeiding og vekstskifte for å fremme jordliv.

De verste jordbårne skadegjørere gir kjente symptomer som fallesyke og råte i veksthus. Det er derfor ikke alltid nødvendig å bestemme arter ved å analysere på DNA-nivå. På den annen side kan det ved veksthusproduksjon med kulturer av høy verdi og intensiv dyrking være en god investering med bredspektret tilsetning av mikroorganismer ettersom de kan fremme omsetning og opptak av plantenes nødvendige næringsstoffer.

Restråstoff som kompost og biorest kan være både rimelige og gode emner for jordforbedring. Biorest kan, avhengig av konsistens og utgangsmateriale, være verdt å overveie som gjødsel - i stedet for som jordforbedring. Trevirkebasert kompost har flere fortrinn relatert til plantehelse. Biokull er mer kostbart, men et bra tiltak for jordforbedring på kort og lang sikt.

Referanser

- Anonym. 2003a. Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav. Tilgjengelig her: Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav - Lovdata
- Anonym. 2003b. Dyrkingsmedier, jordforbedringsmidler og jorddekkingsmidler – Varedeklarasjon, pakking og merking. Norsk Standard 2890:2003. Tilgjengelig mot betaling her: NS 2890:2003 (standard.no)
- Anonym. 2013. Rotbrann, rothalsråte. Plantevernleksikonet. NIBIO. Tilgjengelig her: Rotbrann, rothalsråte (plantevernleksikonet.no)
- Anonym., 2016. Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum. Tilgjengelig her: [Forskrift om animalske biprodukter som ikke er beregnet på konsum \(animaliebiproduktforskriften\) - Lovdata](#)
- Anonym. 2022. Regelverksveileder Økologisk landbruk – utfyllende informasjon om regelverket for økologisk landbruksproduksjon. Versjon 16.12. 2022. Mattilsynet. Tilgjengelig her: Veileder for økologisk landbruk | Mattilsynet
- Brod, E. 2023. Biorest fra marine råstoffer. Kjemisk sammensetning og gjødselkvalitet. NIBIO Rapport vol. 9, nr. 140, 16 s.
- Brod, E. & Haraldsen, T.K. 2017. Miljøvennlige jordblandinger – klima, resirkulering og bruksområder. NIBIO Rapport vol. 3, nr. 151 M 901. 39 s.
- Bysveen, K. 2021. Biokull i landbruket. Tilgjengelig her: Biokull i landbruket | NLR Innlandet
- Debio 2016. Grønngjødsling. Temaark 7 i serien med praktiske veiledere til regelverket for økologisk landbruksproduksjon. DebioInfo. 2 s.
- Debio 2022. Planteproduksjon hele landet 2021. OK-Planteproduksjon-hele-landet_2021.xlsx (live.com)
- Dorais, M., Thériault M., Pepin, S. & Lefort, J. 2016. Fertilisation management for organic cucumber grown in raised demarcated beds. Acta Hort. 1137 (ed. Bellon S. *et al.*). ISHS. Pp 27-32.
- Doyle, O.P.E. 2017: Suppressive Composts in Organic Horticulture: Fact or Fiction? Review – thematic Issue in Eur. J. Hortic. Sci. 82 (6), 263-276. ISHS.
- Enni, J. A. 2022. Biostimulanter i dansk, økologisk planteavl. Rapport. Innovationscenter for Økologisk Landbrug. 12 s.
- Erhart, E. & Hartl, W. 2010. Compost Use in Organic Farming. Chapter in Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming (edt. Lichtfouse E.) Sustainable Agriculture Reviews. Volume 4. Springer. Pp 311-347
- Eriksen, J. (ed.), Sørensen, P., Møller H.B., Kristensen H.L., Elsgaard, R., Hermansen S., Laursen, C., Magid J., Jensen L.S. & Jespersen, L.M. (ed.) 2023. Næringsstoffforsyning og -recirkulering i økologisk jordbruk – utviklingsmuligheter og barrierer for vækst. 112 s. Vidensyntese fra ICROFS – Internationalt Center for Forskning i Økologisk Jordbrug og Fødevarersystemer, Aarhus Universitet.
- EU 2021a. EUs jordbundsstrategi for 2030. Udnyttelse af fordelene ved en sund jordbund for mennesker, fødevarer, natur og klima. Meddelelse fra kommissionen til Europa-parlamentet, rådet og det europæiske økonomiske og sociale udvalg og regionsudvalget. (dansk oversettelse). 26 s.
- EU 2021b. A Soil Deal for Europe. 100 living labs and lighthouses to lead the transition towards healthy soils by 2030 – implementation plan. Working document. EU Commission. Pp 77.
- FAO 2008. An international technical workshop Investing in sustainable crop intensification. The case for improving soil health. Integrated Crop Management. FAO, Rome. 2008;6.
- Faverial, J., Boval, M., Sierra, J. & Sauvant, D. 2016: End-product quality of composts produced under tropical and temperate climates using different raw materials: A meta-analysis. Journal of Environmental Management. 183, pp. 909-916. Elsevier.
- Friis Pedersen, S. & Løes, A.K. 2022. Phasing out peat in growing media – results from Scandinavian studies. NORSØK report vol. 7, no. 1, pp 33.
- Fuchs, J.G., Hedrich, T., Hofer, V., Koller, M., Oberhaensli, T., Ribera Regal, J., Tamm, L., Thuerig, B., Schwarze, F.W.M.R. & Herforth-Rahmé, J. 2017. Development of disease-suppressive organic growing media. Acta Horticulturae, 1164, pp181-188.
- Govindakrishnan. P.M., Ganeshamurthy, Krishna Kumar N.K., Beggi F., Bhaskar, S. & Rana, J.C. 2022. DUS(Soil) – A framework for Developing a Minimum Data Set of Soil Health Indicators and Management Guidelines for Farmers. J Agri Sc., vol 14 no 1 pp 41-49.
- Grand, A. & Michel, V. 2020. Kompost: Fordele og ulemper (svensk). Faktaark fra prosjektet Best4soil. 2 s.

- Grøtta, M. 2020. Biokull for landbruket. Ringreven nr. 1, s. 36-26. Landbruk Nordvest.
- Hauenstein, S., Rochat, A. & Schwitter, P. 2021. Transfer mulch in organic greenhouses. Greenresilient Factsheet. Pp. 4.
- Haukås, T. & Knutsen, H. 2020. Resirkulering av gjødselvann i veksthus. NIBIO rapport vol. 6 nr. 134. 24 s.
- Hermansen, A. & Aamlid, D. 2019. Kunnskapsnotat Plantehelse. NIBIO rapport, vol. 5, nr. 147, 59 s.
- Houben, S. & Brinks, H. 2020. Praktisk information om markhälsa (svensk). Faktaark fra prosjektet Best4soil .4 s.
- Hvitsand, C. & Kleppe, B. 2011. Avsetning av biorest til landbruket. Telemarksforskning. 144 s.
- Johansen, A., Pommeresche, R., Riley, H. & Løes, A.K. 2015, Anaerobic digestion of animal manure – implications for crop yields and soil biota in organic farming., "Nordic View to Sustainable Rural Development", Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga, Latvia, 16-18 June 2015 pp.97-102 ref.8
- Kratz, W. R. 1998. The Bait-Lamina Test – General Aspects, Applications and Perspectives. Environ, Sci. and Pollut. Res. 5 (2) pp 94-96.
- Magnusson, C., Krogstad, T., Petersen, M., Brurberg, M.B., Huseby, S., Rasmussen I., Schaller, B., Talgø, V., Tangvik, M.P. & Hatleli, L. 2020. Jordtrøtthet i eple – forskjell mellom økologisk og konvensjonelle hager? NIBIO Rapport vol. 6, nr. 58, 30 s.
- Mann, C., Lynch, D., Fillmore, S., & Mills, A. 2019. Relationships between field management, soil health, and microbial community composition. Applied Soil Ecology. Vol. 144 pp12-21.
- Mankotia, R., Sharma, R., Sepehya, S., Saini, R. & Kumar, A. 2019. Soil Health Assessment and Its Sustenance. Int. J.Curr.Microbiol.App.Sci. 8(08). Pp 1978-1987.
- Mattilsynet. 2022. Nytt økologiregelverk blir gjeldende i Norge. [Om Mattilsynet | Mattilsynet](#)
- Mattilsynet. 2023. Organisk gjødsel, jordforbedringsmidler og dyrkingsmidler. [Planter og dyrking | Mattilsynet](#)
- McKinnon, K., Løes, A.-K. & Almvik M. 2021. Gjødsel med rester av herbicid: Effekt av klopyralid på oppalsplanter. NORSØK Rapport nr. 6, vol. 6, 44 s.
- Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, A., McBride, M.B. & Abawi, G.S. 2016. Comprehensive assessment of soil health. A Cornell framework Manual, Edition 3.1, Cornell Univ. Ithaca, NY. P 134.
- Neher, D.A. 2021. Biological indicators and compost for managing plant disease. Acta Hort. 1317. Proc. II Int. Symp. On Growing Media, Soilless Cultivation, and Compost utilization in Hort. (Eds. Vandecasteele B. & Viaene J.) Pp 33-45.
- OIKOS 2005. Prinsippene for økologisk landbruk.4 s.
- Pommeresche, R. 2020. Jordlappen – 10 indikatorer for vurdering av jordkvalitet og jordhelse. NORSØK rapport vol. 5 nr. 1. 32 s.
- Pommeresche, R., Ruissen, T. & Joner, E. 2011. Jordlevende sopp. Bioforsk TEMA nr. 18. 6 s.
- Pommeresche, R. & Swensen, B. 2011. Jordlevende bakterier. Bioforsk Tema. Nr. 17. 6 s.
- Pommeresche, R., Hansen, S. & Solbakk, K. 2020. Bakterier i jord og kompost – flerfunksjonelle samfunn. NORSØK Faginfo nr. 2. 8 s.
- Pommeresche, R., Rasse, D. & Joner, E. 2021. Biokull – status for forskning og utprøving i Norge. Biokull - status for forskning og utprøving i Norge @ Agropub
- Pommeresche, R. & Rittl, T. 2022a. Hvordan måle jordhelse? Tilgjengelig her: [Hvordan måle jordhelse? @ Agropub](#)
- Pommeresche, R. & Rittl, T. 2022 b. Testing av et utvalg av jordhelsetester. Økologisk landbruk nr. 2, s. 32-37
- Plantevernguiden. 2023. Oppslag på diverse ugrasmidler. [Plantevernguiden.no](#)
- Raviv, M. 2016: Compost as a tool to suppress plant diseases: established and putative mechanisms. Acta Hort. 1146. ISHS 2016. DOI 10.17660/ ActaHortic.2016.1146.2. Proc. III.
- Rinot, O., Levy, G.J., Steinberger, Y., Svorag, T. & Eskel, G. 2019. Soil health assessment: A critical review of current methodologies and a proposed new approach. The Science of the Total Environment. Vol 15: 648. Pp 1484-1491.
- Rosberg, A. K., Will, L. & Alsanianus, B. 2021: Insights in interaction between soil biodiversity and root disease suppression in organic production systems – Preliminary results. Pp 27. Project GreenResilient WP 4.1. SLU.
- Rouphael, Y. & Colla, G. 2020. Editorial: Biostimulants in Agriculture (Plant biostimulants: Rationale, state of art and evolution). Frontiers in Plant Science vol 11 art.40 pp1-7

- Rygh, C.O. m.fl. 2020. Nasjonalt program for jordhelse. Faggrunnlag og forslag til utvikling av tiltak og virkemidler for økt satsing på jordhelse. Rapport nr. 13. 52 s. Tilgjengelig her: Nasjonalt program for jordhelse - Landbruksdirektoratet
- Samuelsson, A. 2021. Växtbiostimulanter – nya redskap i odlarens verktyglåda. (red. Johnsson, P.). Jordbruksverket. 43 s.
- Sarneel, J., Fredriksson, E. & Bronéus, F. 2016. Sluttrapport Tepåseforsøket. Forskerfredags masseksperiment 2015. Vetenskap & Allmänhet, VA-rapport nr. 1, 24 s.
- Seifu, W. & Elias, E. 2018. Soil Quality Attributes and Their Role in Sustainable Agriculture: A Review. International Journal of Plant & Soil Science 26(3): 1-26. Articl no. IJPSS. 41589.
- Serikstad, G.L. 2016. Råtnerest -aktuelt som gjødsel i økologisk landbruk? NORSØK Faginfo vol. 1, nr. 6, 8 s.
- Serikstad, G.L., McKinnon, K. & Eggen T. 2016. Uønskede stoffer i husdyrgjødsel. NORSØK Faginfo nr. 7, vol. 1, 8 s.
- Serikstad, G.L., Magnusson C. & A. de Boer. 2017. Kløvertretthet – hvordan forhindre avlingstap. NORSØK Faginfo nr. 3, vol. 2, 8 s.
- Serikstad, G. L., Pommeresche R., McKinnon K. & Hansen S. 2018. Karbon i jord – kilder, handtering, omdanning. NORSØK Rapport vol. 3, nr. 9, 60 s.
- Sundheim, L., Toppe, B. & Hermansen, A. 2017. Svartskurv, *Rhizoctonia solani*. Plantevernleksikonet. NIBIO. Svartskurv (plantevernleksikonet.no)
- Svendgård-Stokke, S., Kolberg, D., Cannell, R.J.S., Lågbu, R., Klakegg, O., Ulfeng, H., Nyborg, Å., Bardalen, A. & Strand, G.-H. 2021. Jordsmonnet vi lever av. Forslag til system for dokumentasjon og rapportering av jordsmonnets tilstand og endring. NIBIO Rapport vol. 7, nr. 14. 67 s.
- Sørensen, J.N. & Grevsen, K. 2016. Strategies for cut-and-carry green manure production. Acta Hort. 1137. Proc. Int. Symp. On Innovation in Integrated and Organic Horticulture held by ISHS. pp. 39-46.
- Symnaczyk, S., Mäder, P. & Romano, I. 2020. Biofertilisers. (Edt. Gabel V.). Factsheet no. 1121. FIBL. P 12.
- Thomassen, M.K., O'Toole, A., Joner, E., Tschentscher, R., Otte, P., Vik, J., Brobakk, J., Horn, S., Vik., L. & Halvorsen T. 2017. Utvikling og implementering av biokull som klimatilak i Norge. SINTEF. 25 s.
- Tittarelli, F., Båth, B., Ceglie, F.G., Garcia, M.C., Möller, K., Reents, H.J., Védie, H. & Voogt, W. 2016. Soil fertility management in organic greenhouses in Europe. BioGreenhouse COST Action FA 1105, www.biogreenhouse.org.
- Toppe, B. 2013. Phytophthora-råte. Plantevernleksikonet. Phytophthora-råte (plantevernleksikonet.no)
- Van Bruggen, A. H.C., Sharma, K., Kaku, E., Karfopoulos, S., Zelenev, V. V. & Blok, W.J. 2015. Soil health indicators and *Fusarium* wilt suppression in organically and conventionally managed greenhouse soils. Applied Soil Ecology vol. 86 pp 192-201.
- Vandecasteele, B., Muylle, H., de Windt, I., Van Acker, J., Ameloot, N., Moreaux, K., Coucke, P. & Debode, J. 2018. Plant fibers for renewable growing media: Potential of defibration, acidification or inoculation with biocontrol fungi to reduce the N drawdown and plant pathogens. Journal of Cleaner Production 203 pp 1143-1154.
- Vandecasteele, B., Van Loo, K., Ommeslag, S., Vierendeels, S., Rooseleer, M. & Vandaele, E. 2022. Sustainable Growing Media Blends with Woody Green Composts: Optimizing the N release with Organic Fertilizers and Interaction with Microbial Biomass. Agronomy vol. 12 no. 2. 422 pp 18.
- Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. (eds.), 2016: Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture. BioGreenhouse COST Action FA 1105. ISBN 978-94-6257-749-7 pp 108.
- Viketoft, M., Riggi, L.G.A., Bommarco, R., Hallin, S. & Taylor, A. R. 2021. Type of organic fertilizer rather than organic amendment per se increases abundance of soil biota. Peer J 9:e11204 pp 14- 36. DOI 10.7717/peerj.11204
- VKM 2016. Risk assessment of manure and digestive tract content from slaughterhouses as a pathway for weeds and plant pests. Opinion of the Panel on Plant Health, ISBN: 978-82-8259-245-1, Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo. Norway.
- VKM 2021. Assessment of treatment methods and validation criteria for composting and biogas facilities in relation to plant health risks and the risk of spreading alien organisms. Scientific Opinion of the Panel on Plant Health of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM Report 2021:19, ISBN: 978-82-8259-374-8, ISSN: 2535-4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo.
- Wayenberge, L., Viaene, N. & Willekens, K. 2020. Nematodes as suitable indicators for soil health. Fact sheet. Pp 2. ILVO, Belgium. Tilgjengelig på <https://orprints.org/37914/>
- Wibe, A., Pommereche, R., Rittl, T. & Båtnes, M. 2021. Jordliv i bringebær- og jordbærfelt – Effekter av driftsform innen bringebærproduksjon og ozonbehandling av jordbærplanter. NORSØK Rapport vol. 6. nr. 16. 32 s.



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