



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Kartlegging av plantevernmidler i jordbruksjord

Kunnskapsbehov for å vurdere sammenhenger med jordhelse

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 146 | 2023



Kathinka Lang, Marit Almvik, Marianne Stenrød
Divisjon for Bioteknologi og Plantehele

TITTEL/TITLE

Kartlegging av plantevernmidler i jordbruksjord. Kunnskapsbehov for å vurdere sammenhenger med jordhelse.

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Kathinka Lang, Marit Almvik, Marianne Stenrød

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
12.12.2023	9/146/2023	Åpen	51555	19/01226-32
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03394-3	2464-1162	58	0	

OPPDRAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet, Handlingsplan for bærekraftig bruk av plantevernmidler

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Semona Issa

STIKKORD/KEYWORDS:

Plantevernmidler, jordbruksjord, jordhelse, jordkvalitet

Pesticides, agriculture soil, soil health, soil quality

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Plantevernmidler i miljøet, Bærekraftig bruk av plantevernmidler

Pesticides in the environment, Sustainable use of pesticides

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Sammendrag

Det er i dette prosjektet gjennomført en feltkartlegging og en litteratursammenstilling av eksisterende datagrunnlag for å belyse mulige utfordringer med rester av plantevernmidler i jordbruksjord. Det er også gjort en gjennomgang av tilgjengelig litteratur om plantevernmidler og effekter på jordhelse. Plantevernmidler kan påvirke prosesser i jord som blir sett på som viktige funksjoner en sunn jord bidrar med. Det finnes imidlertid ingen etablerte jordhelseparametere som kan direkte knyttes til plantevernmidler i jord. Det er et behov for studier som ser på plantevernmidler i sammenheng med andre parametere av betydning for jordhelse for om mulig å kunne utlede sammenhenger og risikoinndikatorer. Se mer utfyllende sammendrag på side 7.

Summary

A field survey and a compilation of existing data was carried out in order to identify possible challenges with pesticide residues in agricultural soil. Further, a literature review focused on pesticides and potential impacts on soil health was done. Pesticides can affect processes in soil that are seen as important functions for a healthy soil. However, there are no established soil health parameters that can be directly linked to pesticide residues in soil. There is a need for studies that look into how pesticides may impact key parameters of importance for soil health in order to derive connections and suitable risk indicators. See more detailed summary on page 9.

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

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

GODKJENT /APPROVED

Marianne Stenrød

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Marit Almvik



Forord

Det er viktig å ta vare på jordbruksjorda for å sikre en tilstrekkelig og bærekraftig norsk matproduksjon. Vi ser en økende oppmerksomhet innen forskningen og i samfunnet generelt på dette området. Dagens kunnskapsstatus tilsier imidlertid at vi bør øke innsatsen for å forstå betydningen av plantevernmiddelbruk på jordkvalitet og jordhelse i et langsiktig perspektiv.

Denne rapporten inkluderer en sammenstilling av data for funn av plantevernmidler i jordbruksjord i et bredt spekter av norske jordtyper og produksjonsformer. Dataene antas å gi et representativt bilde av forekomst av plantevernmidler i norsk jordbruksjord. Rapporten inkluderer en vurdering av mulig påvirkning fra slike rester av plantevernmidler på jordkvalitet og jordhelse, samt peker på viktige kunnskapsmangler og forskningsbehov.

Arbeidet som rapporteres her er gjennomført i perioden 2020-2023 og er i hovedsak finansiert av prosjektmidler tildelt over Handlingsplan for bærekraftig bruk av plantevernmidler (2016-2020 og 2021-2025) som forvaltes av Landbruksdirektoratet. NIBIO divisjon Bioteknologi og plantehelse har ledet arbeidet som er gjennomført i samarbeid med flere av stasjonene i NIBIO (Ås, Apelsvoll, Særheim, Landvik) og har inkludert prøvetaking i flere langvarige forsøk/prosjekt finansiert over andre ordninger (dvs. dyrkingssystemforsøket på NIBIO Apelsvoll og Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) finansiert av NIBIO/kunnskapsstøttemidler). Rapporten inkluderer også utvalgte data om plantevernmidler i jord som er etablert gjennom andre prosjekter (dvs. AMR Terra finansiert av Miljødirektoratet, JOVA-programmet og NFR-prosjektet LowImpact (prosjektnummer 287431)).

Ås, 06.12.2023

Marianne Stenrød

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1 Innledning.....	10
2 Materiale og metoder	12
2.1 Feltkartlegging	12
2.1.1 Områder	12
2.1.2 Prøvetakingsmetoder.....	13
2.2 Ekstraksjon og plantevernmiddeleanalyser av jordprøver.....	14
2.3 Litteratursammenstilling	14
3 Resultater	16
3.1 Funn av plantevernmidler	16
3.1.1 Hyppighet av plantevernmiddelrester i jord	16
3.1.2 Sumkonsentrasjoner av plantevernmidler i jord.....	18
3.1.3 Påvisning av ulike grupper av plantevernmidler	19
3.1.4 Plantevernmidler påvist i jordprøver fra ulike produksjoner.....	20
3.2 Påviste konsentrasjoner og effektkonsentrasjoner i jord.....	27
3.3 Bruk av plantevernmidler	28
3.3.1 Plantevernmiddelbruk i potetproduksjon.....	29
3.3.2 Plantevernmiddelbruk i grønnsakproduksjon	30
3.3.3 Plantevernmiddelbruk i bringebærproduksjon.....	30
3.3.4 Plantevernmiddelbruk i korn	31
3.3.5 Plantevernmiddel bruk i gras og eng.....	32
3.4 Jordhelse og plantevernmidler – status og kunnskapshull.....	32
3.4.1 Forbedring av luft- og vannkvalitet	34
3.4.2 Plante- og dyrehelse.....	34
3.4.3 Mangfold av jordorganismer	35
3.5 Plantevernmidler i nordisk jord og klima og i EU	36
3.5.1 Funn av plantevernmidler i jordovervåkingen i LUCAS Soil Pesticide i 2015	36
3.5.2 Funn av plantevernmidler i jordovervåkingen LUCAS Soil Pesticide i 2018	36
3.5.3 Funn av plantevernmidler i jord i Finland	40
3.5.4 Funn av plantevernmidler i jord i Sverige	40
3.5.5 Plantevernmidlene med størst miljøbelastning i jordbruket – et eksempel fra Danmark.....	41
3.5.6 Plantevernmidlers skjebne i jord.....	42
3.5.7 Funn av plantevernmidler i jord i Norden; kunnskapshull	43
4 Diskusjon.....	45
4.1 Plantevernmidler i norsk og europeisk jordbruksjord	45
4.2 Plantevernmidler i jord og jordhelseparametre	46
4.3 Konklusjoner og videre oppfølging	48

Sammendrag

For å kartlegge plantevernmiddelrester, identifisere mulige ugunstige effekter på jordhelse og avdekke kunnskapshull er det gjennomført en feltkartlegging og litteratursammenstilling av eksisterende datagrunnlag om plantevernmidler i jord.

Kartleggingen av plantevernmidler i jordbruksjord inkluderte uttak av jordprøver fra en rekke lokaliteter i Norge. Utvalget antas å være representativt for variasjonsbredden av jordtyper og produksjoner vi har i norsk jordbruk og inkluderte jordprøver tatt under produksjon av potet, grønnsaker, bær, korn, gras og eng. Jordprøvene kommer fra ulike regioner i Norge og er tilknyttet til dels til JOVA-feltene og andre forskningsprosjekter i NIBIO. Arbeidet inkluderer totalt 265 jordprøver fra 21 forskjellige lokaliteter i seks regioner i Norge. Plantevernmiddelanlysene som er gjennomført i prosjektet inkluderte en kvantitativ analysemetode for 450 plantevernmidler og nedbrytingsprodukter og med kvalitativ bestemmelse av ytterligere 400 plantevernmidler og nedbrytingsprodukter. Bestemmelsesgrensen er på 1-10 µg/kg for de fleste plantevernmidlene.

Resultatene viser at kulturene med høyest andel jordprøver med funn var bringebær og frukttrær (epler og plommer) (100%) mens jordprøver fra gras og eng hadde lavest andel av prøver med funn (31%). Men selv om de fleste kulturene har en høy andel prøver som har funn av plantevernmidler er det viktig å se på hvor høy målte konsentrasjoner er og hvor mange forskjellige plantevernmidler det er man finner i en prøve. Ser man på høyeste sumkonsentrasjoner var det spesielt bringebær, jordbær, potet og frukttrær som pekte seg ut med funn over >100 µg/kg i minst 50 % av prøvene med funn. Disse fire kulturene hadde dessuten en median konsentrasjon over 100 µg/kg. Potet, bringebær, og frukttrær var kulturene med høyest funnfrekvens av ulike plantevernmidler per jordprøve (potet 10,3 plantevernmidler; bringebær 9,7; epler og plommer 8,2). Gjennomsnittlig antall påviste plantevernmidler per prøve var høy også for grønnsaker (7,8). Jordprøver tatt ut fra areal med produksjon av grønnsaker og korn hadde en stor andel med funn av plantevernmidler (hhv. 76% og 80%), men en lav andel prøver med høye sumkonsentrasjoner (hhv. 15% og 7%). Vi ser imidlertid at ingen av de påviste konsentrasjonene var over kjente effektkonsentrasjoner for viktige jordorganismer som meitemark. Det er imidlertid p.t. for lite kunnskap om risiko for og effektnivåer for blandingsgiftighet i jord, når det gjerne påvises flere ulike plantevernmidler samtidig.

En sammenlikning av disse resultatene med resultater fra den europeiske overvåkingen av plantevernmidler i jord (LUCAS Soil Pesticides) viser at både norsk og europeisk jordbruksjord avdekker flest funn i områder med dyrking av grønnsaker og potet. Dette kan reflektere stort behov for plantevernmidler og en større persistens av disse midlene. Det er gjort mange funn av soppmidler og disse brytes generelt langsommere ned i jord enn ugras- og skadedyrmidler, samt kan bindes sterkere til jord. Det er vanskeligere å sammenlikne funn av plantevernmidler i jord under kornproduksjon i Norge og i prøvetakingsområdene i LUCAS. Dette er bl.a. fordi LUCAS programmet viser mange funn av glyfosat og nedbrytningsprodukt for dette, mens disse stoffene ikke var innenfor rammene av vår kartlegging. For øvrig er sammenlikningen usikker på grunn av at LUCAS rapporteringen ikke rapporterer de faktiske konsentrasjonsnivåene som er målt.

Gjennomgangen av publikasjoner og rapporter om plantevernmidler i jord i nordisk klima, gir grunnlag for å peke på følgende kunnskapsmangler som bør følges opp videre:

- Overvåking av plantevernmiddelrester i miljøet i Norden har i all hovedsak vært rettet mot vannkilder og matvarer. Det er først og fremst gjennom LUCAS Soil Pesticides screeningen i 2015 og 2018 at vi har data på rester av plantevernmidler i jord fra Sverige, Finland og Danmark. Norge deltar ikke her. Norge er i gang med å utvikle et eget jordovervåkingsprogram (JordVaak) hvor plantevernmidler og forurensinger er en modul, som kan gi oss ytterligere informasjon om plantevernmiddelrester i norsk jord. Det er imidlertid en del begrensninger ved LUCAS-resultatene som fremtidig jordovervåking i Norge

bør vurdere ved planlegging av JordVaak-programmet. Disse inkluderer kort oppsummert følgende: 1) i LUCAS blir det kun tatt ut én stikkprøve per lokalitet, en gang mellom mars og november. 2) Funn av plantevernmiddelester er ikke sammenholdt mot sprøytejournal på lokaliteten. 3) Jordprøvene blir lufttørket etter prøvetaking, noe som kan bidra til nedbryting av lett nedbrytbare plantevernmidler. 4) LUCAS-analysemetodens smale søkespekter på 109 plantevernmidler og 9 nedbrytingsprodukter, som ikke fanger opp alle de inntil 450 plantevernmidlene som er godkjent for bruk i EU. 5) Prøvetakingen i LUCAS er svært dominert av jord fra korn, oljevekster og grasmark. Disse prøvene utgjorde 80% av prøveomfanget i 2018. Disse kulturene sprøytes i stor grad med ugrasmidler som brytes raskt ned og/eller med midler som det kreves spesialmetoder for å analysere og blir ikke fanget opp av analysemetoden som er brukt.

- Det bør legges mer vekt på å samle inn prøver også fra andre kulturer. I LUCAS 2018 ble det gjort flest funn og i høyest konsentrasjoner i jordprøver fra dyrkingskategoriene grønnsaker og melon, potet og sukkerbete. Disse prøvene utgjorde bare 6,5 % av prøveomfanget. Det er behov for mer data fra slike kulturer.
- De stoffene som ble påvist i flest prøver i LUCAS og med høyest risiko for utvalgte jordlevende organismer var skadedyrmidler (imidacloprid og chlorpyrifos) og soppmidler (epoxiconazole, boscalid, difenoconazole og dimoxystrobin). Prøvetaking av jord fra kulturer med et generelt høyt behov for sprøyting med skadedyr- og soppmidler bør (opp)prioriteres.
- Det hadde vært nyttig å ha beregning av miljøbelastning av plantevernmidlene som er i bruk i Norge, tilsvarende det Miljøstyrelsen i Danmark utarbeider. Dette kan brukes til å vite mer om hvilke plantevernmidler man bør rette tiltak mot, særskilt sammenholdt mot overvåkingsdata over plantevernmiddelester i jord.
- Det trengs bedre risikoindikatorer for blandingstoksisitet av plantevernmidler på jordlevende organismer. LUCAS Soil har utarbeidet en prototype for en slik risikoindikatormodell.

Litteraturgjennomgangen for plantevernmidler og jordhelse, viste at plantevernmidler kan (negativt) påvirke prosesser i jord som blir sett på som viktige funksjoner en sunn jord bidra med. Det finnes imidlertid ingen etablerte jordhelseparametere som kan direkte knyttes til plantevernmiddelester i jord. I tillegg er plantevernmiddelesterkonsentrasjoner i jord ikke blant de vanlige parameterne som undersøkes i studier med fokus på jordhelse. Med tanke på at store deler av norsk jordbruksareal behandles med plantevernmidler årlig kreves et økt fokus eventuelle negative effekter av plantevernmidler (og mulige andre forurensninger) i jord ved studier av jordhelse. Dette for å understøtte og forklare målinger av ønskede jordegenskaper som har vært prioritert i jordhelsestudier så langt.

Datagrunnlaget og kunnskapsoppsummeringen som er produsert i prosjektet gir ikke grunnlag for å komme med konkrete anbefalinger ift. produksjonsmetoder, men er etter vår mening et godt grunnlag for å gjøre prioriteringer for videre kartleggings- og overvåkingsarbeid for plantevernmidler i jord. Spesielt viktig er å se på dette i sammenheng med andre påvirkningsfaktorer av betydning for jordhelse for om mulig å kunne utlede sammenhenger og risikoindikatorer. Det er aktuelt å arbeide videre med resultatene i tilgrensende prosjekter hos NIBIO (bl.a. JOVA-programmet, nytt jordovervåkingsprogram for Norge (JordVaak)).

Summary

A field survey and a literature review were carried out in order to identify possible challenges with pesticide residues in agricultural soil and potential impacts on soil health.

The survey of pesticides in agricultural soil included soil sampling from a range of locations in Norway. The selection was assumed to be representative of the variety of soil types and productions in Norwegian agriculture and included soil samples from areas with potatoes, vegetables, berries, grains, grass and meadow. The survey included a total of 265 soil samples from 21 different locations in six regions in Norway. The pesticide analyses done included a quantitative analysis method for 450 pesticides and degradation products and with qualitative determination of a further 400 pesticides and degradation products. The quantification limit was 1-10 µg/kg for most pesticides.

The results showed that the crops with the highest proportion of soil samples with quantifiable pesticide residues were raspberries and fruit trees (apples and plums) (100%), while soil samples from grass and meadows had the lowest proportion of samples with pesticides (31%). It is important to assess how high the measured concentrations are and how many different pesticides are found in a sample. Looking at the highest total concentrations, soil samples from areas with production of raspberries, strawberries, potatoes and fruit trees showed residues above >100 µg/kg in at least 50% of the samples with detections. Potatoes, raspberries and fruit trees were the crops with the highest detection frequency of various pesticides per soil sample (potatoes 10.3 pesticides; raspberries 9.7; apples and plums 8.2). The average number of detected pesticides per sample was also high for vegetables (7.8). Soil samples taken from areas with vegetable and grain production had a large proportion of samples with pesticides (respectively 76% and 80%), but a low proportion of samples with high total concentrations (respectively 15% and 7%). None of the detected concentrations were above known no-effect concentrations for important soil organisms such as earthworms. However, there is currently a lack of knowledge about the risk of multiple pesticide residues and effect levels for mixture toxicity in soil, even though the detection of multiple pesticide residues appears to be common.

A comparison of our findings with results from the European monitoring of pesticides in soil (LUCAS Soil Pesticides) showed that both Norwegian and European agricultural soils had the most findings in soil where vegetables and potatoes were grown. This may reflect a greater need for pesticides in these crops and a longer persistence of the used pesticides. Detected pesticides were mostly fungicides, which generally degrade slower in soil and sorb more strongly to soil particles compared to herbicides and insecticides. The comparison of amounts of pesticides detected in soil under grain production was more difficult. A main reason for this is that the LUCAS program reported many findings of glyphosate and its metabolite, while glyphosate was not within the scope of our study. Also, LUCAS does not report details on the measured concentration levels.

The review of publications and reports on pesticides in soil in the Nordic climate provides a basis for pointing out the following knowledge gaps that should be further investigated:

- Monitoring of pesticide residues in the environment in the Nordic region has mainly been aimed at water sources and food commodities. It is primarily through the LUCAS Soil Pesticides screening in 2015 and 2018 that we have data on pesticide residues in soil from Sweden, Finland and Denmark. Norway does not participate in LUCAS, but is in the process of developing its own soil monitoring program (JordVaak). Pesticides and pollutants are included in JordVaak giving us further information about pesticide residues in Norwegian soil. However, there are a number of limitations with the LUCAS results that should be considered when planning the JordVaak programme in Norway. Briefly summarized, these include the following: 1) in LUCAS, only one random sample is taken per sampling site, once between March and November. 2) Findings of pesticide residues have not been compared with spraying

records from the sites. 3) The soil samples are air-dried after sampling, which can contribute to the breakdown of easily degradable pesticides. 4) The LUCAS analysis method's narrow scope of 109 pesticides and 9 metabolites, does not capture all of the up to 450 pesticides approved for use in the EU. 5) The sampling in LUCAS is very much dominated by soil from cereals, oil crops and grassland. These samples made up 80% of the sample volume in 2018. These crops are mainly sprayed with herbicides that degrade quickly and/or with substances that require special methods to analyse and are therefore not captured by the used method.

- More emphasis should be placed on collecting soil samples from a variety of crops. In LUCAS 2018, pesticides were detected in the highest concentrations and mostly in soil samples from vegetables and melon, potato and sugar beet, yet these samples made up only 6.5% of the sample volume. There is a need for more data from these crops.
- The substances that were detected in most samples in LUCAS and with the highest risk for selected soil-living organisms were insecticides (imidacloprid and chlorpyrifos) and fungicides (epoxiconazole, boscalid, difenoconazole and dimoxystrobin). Sampling of soil from crops with a frequent need for spraying with insecticides and fungicides should be (increased) prioritised.
- Calculations of the environmental impact of the plant protection products used in Norway, similar to what the Danish Environmental Protection Agency prepares, would have been useful. This can be used in combination with monitoring data on pesticide residues in soil, to identify pesticides for which mitigation measures should be implemented.
- Better risk indicators are needed for mixed toxicity of pesticides on soil-living organisms. LUCAS Soil has prepared a prototype for such a risk indicator model.

The literature review on pesticides and soil health, showed that pesticides can (negatively) affect processes in soil that are seen as important functions of a healthy soil. However, there are no established soil health parameters that can be directly linked to pesticide residues in soil. In addition, pesticide concentrations in soil are not among the usual parameters investigated in studies of soil health. Considering that large parts of Norwegian agricultural land are treated with pesticides annually, possible negative effects of pesticides (and possible other pollutants) in soil should be included when studying soil health. This can support and explain measurements of desired soil properties that have been prioritized as parameters in soil health studies so far.

The data collection and the state of knowledge summary produced in this project do not support making specific recommendations regarding production methods but give, in our opinion, a good basis for setting priorities for further mapping and monitoring work for pesticides in soil. It is particularly important to look at this in connection with other important soil health parameters to be able to identify possible connections and risk indicators. It is relevant to continue working with the results in adjacent projects at NIBIO (including the JOVA programme and JordVaak).

1 Innledning

Områder i Norge som egner seg til jordbruk utgjør kun om lag 3,5 % av landets areal (<https://arealbarometer.nibio.no/>). Matproduksjon er viktig for matsikkerhet og det gjelder å ta vare på jordbruksjord. Det er et økende fokus i samfunnet på nødvendigheten av å bevare god jordkvalitet og jordhelse for å sikre langsiktig bærekraftig jordbruksproduksjon, og det bør derfor klarlegges om det er elementer ved dagens produksjonspraksis som utgjør en ugunstig påvirkning på jordhelse og produksjonsevne.

Trusler mot jord inkluderer erosjon, jordpakking, tap av organisk material og jordliv, forurensninger, flom, forsegling og forsaltning (Landbruksdirektoratet, 2020; Stolte et al., 2016). Bruk av plantevernmidler kan føre til forurensning av jord, vann og luft (Stolte et al., 2016), men samtidig er bruk av kjemiske plantevernmidler en forutsetning for å sikre matsikkerhet i norsk jordbruksproduksjon i dag. Godkjenningsordningen skal sikre at bruken av plantevernmidler ikke gir en for høy negativ påvirkning av miljøet og ivaretar miljø og produksjonsforhold på lang sikt, og det er iverksatt overvåkingsprogram som skal avdekke eventuelle uforutsette negative effekter. Miljøovervåkingen i norsk jordbruk gjennom program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) er fokusert på tap av jord, næringsstoffer og plantevernmidler til overflatevann og effekter på vannkvalitet (Bechmann et al., 2021; Stenrød 2015), mens effekter av ulike typer jordbrukspraksis på jordkvalitet og jordhelse ikke følges opp på samme måte.

Rask nedbryting av plantevernmidler i jordbruksjord er en forutsetning for å sikre et godt miljø for jordlevende nytteorganismer og dermed ivareta en viktig forutsetning for god jordhelse. Dagens situasjon hvor vi i jordbruksdominerte områder har hatt langvarig bruk uten noen planmessig oppfølging av eventuell akkumulering av plantevernmiddelrester og nedbrytningsprodukter i jorda, gir usikkerhet om mulige utilsiktede effekter på jordkvalitet og produksjonsevne.

Det er lettere å påvise rester av plantevernmidler og nedbrytningsprodukter i jord enn i vann blant annet fordi konsentrasjonene i jorda er høyere. Ved å analysere jordprøver kan en oppdage problematiske nedbrytningsprodukter mye tidligere enn man kan ved analyse av kun vannprøver. Nylig ble nedbrytningsproduktet dimetylsulfamid påvist i hver tredje drikkevannsboring fra danske vannverk. Dimetylsulfamid er lite giftig i seg selv, men ved ozonrensing av drikkevann omdannes dimetylsulfamid til kreftfremkallende nitrosamin. Oppdagelsen er omtalt som «Den værste forurening af grundvandet med et pesticidstof, vi har set indtil nu», i følge seniorforsker Anders Risbjerg Johnsen ved GEUS i mars 2019 (DR Nyheder 4. mars 2019). Dimetylsulfamid er nedbrytningsprodukt av soppmidlene tolylfluanid og diklofluanid, som ikke lenger er tillatt brukt som plantevernmidler i Norge og Danmark, men som fortsatt er i bruk som grohemmende midler (biocider) i trebeskyttelse og utendørsmaling. Dette illustrerer viktigheten av å ha god oversikt over hva slags nedbrytningsprodukter som dannes ved mikrobiell nedbryting av plantevernmidler i jord, hvilke egenskaper disse produktene har og hvordan de potensielt kan spres i miljøet.

Jord- og klimaforholdene, omfanget av jordbruksproduksjonen og plantevernmiddelbruken i Norge er til dels svært annerledes enn i Danmark som eksemplet over er hentet fra. Begge land inngår imidlertid i den nordiske sonen for godkjenning av plantevernmiddepreparater. Det er derfor viktig å framskaffe data som gir kunnskap om problemomfanget i Norge for å klarlegge hva som er de relevante utfordringene i Norge.

Det er en rekke studier av nyere dato som viser at forekomst av plantevernmiddelrester i jord er en reell utfordring (Almvik et al., 2014, 2016; VKM 2015; Silva et al., 2019; Riedo et al., 2021). I Norge er det gjennomført felt- og laboratorieforsøk som viser at nedbrytningen av plantevernmidler i norsk jord og under de jordtemperaturene vi har her i landet, er så langsom at det er en risiko for akkumulering av rester i jord over år. Dette gjelder både selve morstoffet og nedbrytningsprodukter, som kan være mer eller mindre giftige for jordlevende organismer.

Testingen av miljøeffekter av plantevernmidler før godkjenning er i hovedsak rettet mot testing av det enkelte aktive stoff og enkeltpreparater (som kan være blandinger av flere aktive stoffer). Akkumulering av rester i jord tilsier at jordorganismene er utsatt for en mye mer kompleks blanding av stoffer og at effekter på organismer og prosesser som er viktige for jordhelse/-kvalitet kan være større enn forutsatt.

Dagens kunnskapsstatus tilsier at samfunnet må øke innsatsen for å forstå betydningen av plantevernmiddelbruk på jordkvalitet og jordhelse i et langsiktig perspektiv. Det er behov for en kartlegging av det faktiske problemomfanget i norsk jordbruksjord for å avdekke om, og eventuelt under hvilke forhold, det er risiko for ugunstige effekter på jordas produksjonsevne. Det overordnede målet med arbeidet som rapporteres her var (i) å kartlegge det faktiske problemomfanget av plantevernmiddelrester i norsk jordbruksjord, (ii) identifisere om og eventuelt under hvilke forhold det er risiko for ugunstige effekter på jordhelse og jordens produksjonsevne og (iii) avdekke kunnskapshull for nordiske forhold og eventuelt behov for oppfølging og videre forskning.

2 Materiale og metoder

For å kartlegge plantevernmiddelrester, identifisere mulige ugunstige effekter på jordhelse og avdekke kunnskapshull og eventuelt behov for oppfølging er det gjennomført en feltkartlegging og en litteratursammenstilling av eksisterende datagrunnlag om plantevernmidler i jord. Det har vært lagt vekt på å klarlegge situasjonen for rester av plantevernmidler i jordbruksjord for Norge/Norden og hvilke mulige sammenhenger som finnes/kan etableres mellom viktige jordhelseparameter og forekomst av plantevernmidler i jord.

Begrepet plantevernmidler benyttes i denne rapporten for aktive stoffer som finnes i et handelspreparat og som er de stoffene som har en virkning på skadegjørere de skal virke mot. Handelspreparat (av plantevernmidler) er det kommersielt tilgjengelige produktet som selges i butikker og som benyttes av bønder og andre brukere av plantevernmidler.

2.1 Feltkartlegging

Det er gjennomført en kartlegging av plantevernmidler i jordbruksjord med uttak av jordprøver fra en rekke lokaliteter i Norge. Jordprøvene kommer fra ulike regioner i Norge og er tilknyttet til dels til JOVA-feltene og andre forsknings prosjekter i NIBIO. Utvalget antas å være representativt for jordtyper og produksjoner vi har i norsk jordbruk.

Resultatene av denne kartleggingen gir imidlertid kun et øyeblikksbilde som ikke nødvendigvis er representativt for alle år, men kan være en hjelp til å identifisere (elementer i) produksjonsformer som kan være utfordrende med tanke på plantevernmidlers mulige virkning på jordhelse.

2.1.1 Områder

Denne rapporten inkluderer data for totalt 265 jordprøver fra 21 forskjellige lokaliteter i seks regioner i Norge. Inndeling regioner er basert på publikasjon fra Lågbu et al. (2018) med noen avvik på grunn av endringer i fylker siden 2018. Prøvene er samlet inn gjennom flere prosjekter i perioden fra vår 2018 til vår 2022. Størst antall prøver er tatt ut i Trøndelag, men dette inkluderer kun 2 forskjellige lokaliteter. Dette er på grunn av en detaljert prøvetaking gjennomført i et nedbørfelt som ble vurdert for inkludering i JOVA-overvåkingen. Det var flest (6) prøvetakingslokaliteter på Østlandet. En oversikt over antall lokaliteter og antall prøver pr region vises i Tabell 1.

Tabell 1: Tabellen viser antall prøvetakingslokaliteter og antall prøver pr region og produksjonstypene som det ble tatt prøver av med antall prøver pr produksjonstype i parentes. En lokalitet kan inkludere prøvetaking fra flere ulike skifter.

Region	Antall prøvetakingsområder	Antall prøver	Produksjon
Innlandet	2	27	Korn (16), gras og eng (7), potet (4)
Sørlandet og Rogaland	4	54	Gras og eng (23), potet (10), korn (9), grønnsaker (6), frukt og bær (6)
Østlandet	6	67	Grønnsaker (26), korn (19), potet (13), frukt og bær (9)
Trøndelag	2	103	Uten kulturinformasjon (100), frukt og bær (3)
Vestlandet	4	9	Frukt og bær (7), gras og eng (2)
Nord-Norge	3	5	Gras og eng (4), grønnsaker (1)

De ulike regioner har ulike jordtyper og Tabell 2 viser de dominerende jordtypene per region. I Lågbu et al. (2018) finnes mer informasjon om egenskapene av de ulike jordtypene og regionen.

Tabell 2: Dominerende jordtype pr region (%). Viser kun jordtyper som utgjør >10% av jordsmonnet i regionen. Kilde: Lågbu et al. (2018).

Jordtype	Østlandet	Innlandet	Sørlandet og Rogaland*	Vestlandet	Trøndelag	Nord-Norge
Cambisol	11	43	14	20	18	13
Stagnosol	62	14	19		25	12
Histosol			13	18	11	14
Umbrisol			21	17		
Podzol			11			11
Regosol				11		
Gleysol						13
Sum	73	57	78	66	54	63

*Telemark er en del av region Sørlandet og Rogaland i regioninndelingen etter Lågbu et al. (2018)

Hvordan jordbruksarealet utnyttes i de ulike regioner kommer an på klima og jordtype. I Tabell 3 vises andel av jordbruksarealet som benyttes for de ulike produksjonene/kulturene. Gras og eng (beite og grovfôr) er dominerende produksjon i alle regionene unntatt på Østlandet hvor det er korn. Det ble tatt ut jordprøver fra areal under alle de aktuelle produksjonene, men ikke i alle regioner (Tabell 1).

Tabell 3: Fordeling av de ulike produksjonene i % av jordbruksarealet per region (data fra 2022). Kilde: <https://arealbarometer.nibio.no/>.

Produksjon	Østlandet	Innlandet	Sørlandet og Rogaland	Vestlandet	Trøndelag	Nord-Norge
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Gras og eng (beite og grovfôr)	30,8	61,8	94,9	97,9	71,3	99,2
Korn	65,9	34,4	3,6	0,8	27,3	0,3
Potet	1,1	3	0,8	0,2	0,8	0,5
Grønnsaker	1,4	0,8	0,6	0,1	0,5	0,0
Frukt og bær	0,7	0,2	0,2	1,0	0,1	0,0

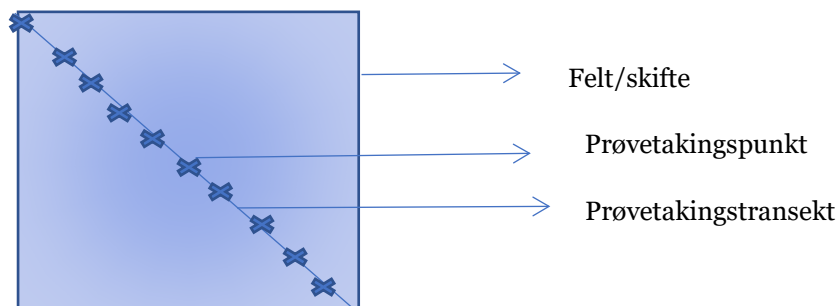
2.1.2 Prøvetakingsmetoder

Tidspunkt for prøvetaking på de ulike lokalitetene var hovedsakelig vår og høst, men for noen lokaliteter er det tatt ut prøver ved flere tidspunkt over en lengre periode (prøver fra prosjektet AMR Terra (fleste undersøkte regioner, ikke Trøndelag) og Low Impact (Østlandet)) eller det er kun tatt ut ved ett tidspunkt (vår/sommer; prøver fra nedbørfelt i Trøndelag).

De analyserte jordprøvene ble i hovedsak tatt fra toppjord (0-10 cm). Jordprøvene kommer fra ulike prosjekter og det betyr at ikke alle jordprøvene er tatt ut på samme måte eller med samme utstyr. Prøvene inkluderer både stikkprøver (enkeltprøver) og blandprøver (10-15 stikkprøver tilfeldig tatt ut fra et større areal er blandet).

Små stikkprøver (jordbor med indre diameter 5 cm, 10 cm dybde) er tatt fra en av lokalitetene i Trøndelag (fra flere øst-vest transekt med prøvetaking i et nedbørfelt, totalt 100 prøver) mens prøver fra dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll (Innlandet, korn, og gras og eng) representerer store stikkprøver (spaprøver til 25 cm dybde, totalt 24 prøver).

Øvrige prøver er tatt ut som blandprøver med ca 15 stikk med jordbor (indre diameter 5 eller 2,5 cm, 10 cm dybde) som er blandet før en homogen blandprøve er tatt ut til videre behandling og analyse. Denne type blandprøver er generelt tatt ut som diagonalt transekt over et skifte som indikert i Figur 1:



Figur 1: Skisse av prøvetakingstransekt og -punkter for blandprøvetaking på skiftenivå.

Jordprøvene ble fryst ned til -20°C ved ankomst på NIBIO stasjon i Ås inntil videre bearbeiding og analyse.

2.2 Ekstraksjon og plantevernmiddeleanalyser av jordprøver

Jordprøvene ble tint, homogenisert og vanninnholdet i en delprøve ble bestemt ved tørking over natt (105°C). Til ekstraksjon ble veid opp 10 gram jord i plast sentrifugerør. Acetonitril (10 ml) ble tilsatt og prøvene ekstrahert på ristebord (30 minutter). Citrat buffer ble tilsatt etterfulgt av ekstraksjon i ytterligere 10 minutter. Ekstraktet ble separert fra jorda ved sentrifugering (3000 rpm i 5 minutter) og filtrert ($0.2\ \mu\text{m}$) til vial før analyse med LC-HRMS (QExactive orbitrap). Noen prøver ble rensert ved filtrering med Oasis HLB Plus Light filter (100 mg sorbent) i tillegg.

Analysemetoden er kvantitativ for 450 plantevernmidler og nedbrytingsprodukter og er kvalitativ for ytterligere 400 plantevernmidler og nedbrytingsprodukter. Bestemmelsesgrensen er på 1-10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ for de fleste plantevernmidlene. Analysemetoden måler prøvene i full scan, med dataavhengig fragmentering av de molekyllmasser som matcher et plantevernmiddel i søkespekteret (FMS-ddMS²). Identifisering er basert på nøyaktig match av molekyllmasse ($<5\ \text{ppm}$ avvik) mot en plantevernmiddeledatabase, nøyaktig match av minst én fragmentmasse ($<5\ \text{ppm}$ avvik) mot databasen, match mot fragmentmassespektrum for plantevernmiddelet i spektralbiblioteket og riktig retensjonstid ($\pm 0.1\ \text{min.}$). De stoffene som ble påvist ble kvantifisert med intern standard metode, med pyraclostrobin-d₃ som intern standard.

I tillegg til screening ble noen av jordprøvene analysert for sure herbicider. Det ble brukt samme ekstraksjonsprosedyre som over, men vann og sur acetonitril (1% maursyre i acetonitril) ble brukt som ekstraksjonsmiddel istedenfor acetonitril.

Analysemetoden brukt i kartleggingen inkluderte ikke alle plantevernmidlene som var sprøytet i feltene. Ugrasmidlet glyfosat var et mye brukt middel som ikke var inkludert i analysene. Dette midlet krever andre analysebetingelser enn den benyttede screeningmetoden og det ble vurdert som uforholdsmessig kostbart å inkludere i denne kartleggingen. Analysemetoden omfatter heller ikke acetonitril og DDT med metabolitter, som har bedre bestemmelsesgrenser med gasskromatografi (GC-MS).

2.3 Litteratursammenstilling

Det er gjort en litteratursammenstilling basert på litteratursøk på vitenskapelige publikasjoner, fra både Norge og andre land med sammenliknbare forhold. I tillegg til søk etter relevante utredninger, rapporter, fagartikler og liknende ble det søkt etter vitenskapelige artikler primært ved bruk av databasene Web of Knowledge og Google Scholar.

Litteratursammenstilling er delt i to deler hvor den første delen sammenstiller kartleggingsresultater for plantevernmiddelester i Norden og den andre delen omhandler sammenhenger mellom jordhelse

og plantevernmidler. I litteratursøkene ble det ble brukt flere ulike kombinasjoner av følgende søkeord:

- 1) Plantevernmidler i jord: «pesticide residues», «northern», «soil», «agriculture», «pesticide metabolites», «screening»,
- 2) Jordhelse og plantevernmidler: «soil health», «pesticides», «ecosystem services», «soil threats», «soil pollution», «pesticide residues», «agriculture», «soil properties», «indicators»

3 Resultater

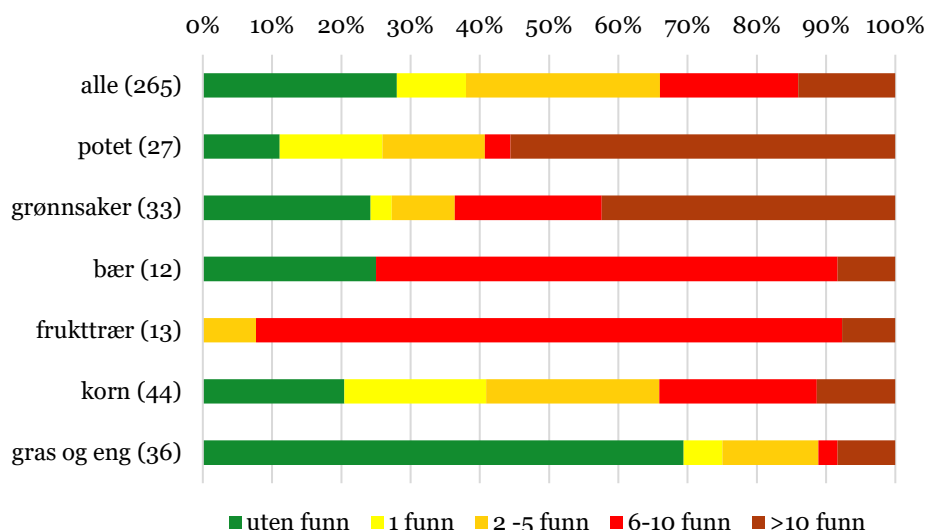
3.1 Funn av plantevernmidler

3.1.1 Hyppighet av plantevernmiddelrester i jord

Det ble påvist plantevernmidler i 72% av de undersøkte jordprøvene. Totalt ble det gjort 1265 funn av 75 ulike plantevernmidler i 265 jordprøver. De fleste jordprøvene var fra kornproduksjon (17%), gras og eng (14%) og grønnsaker (12%). For 38% av jordprøvene var driftsdata ikke tilgjengelig. Disse prøvene er inkludert i de generelle beregningene, men vises ikke i grafene som viser funn i de forskjellige kulturene.

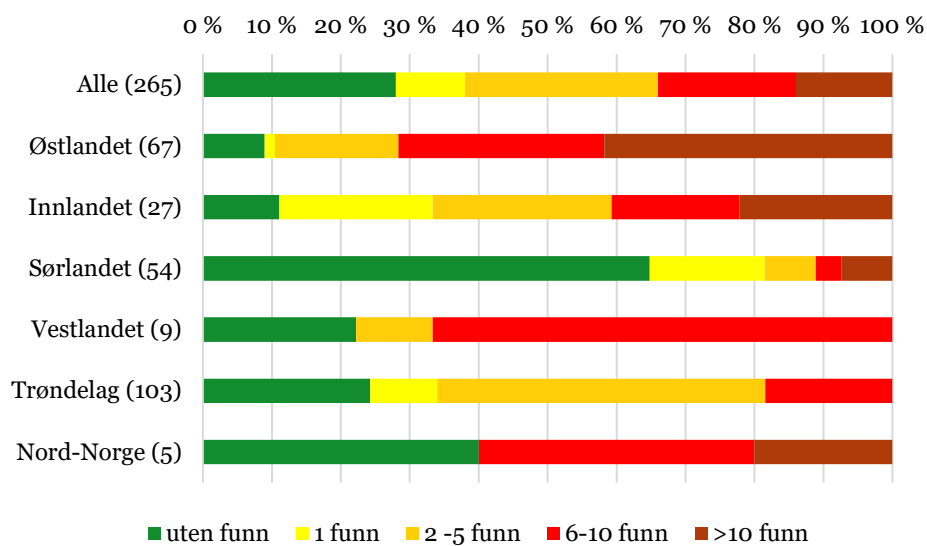
Det ble påvist ett middel i 10 % av prøvene med funn, mens 62% av prøvene med funn inneholdte en blanding av opp til 23 forskjellige plantevernmidler (Figur 2). Over 10 forskjellige midler ble påvist i 14 % av prøvene (Figur 2). I gjennomsnitt ble det gjort funn av fem forskjellige plantevernmidler pr prøve.

Blant de forskjellige kulturene var det jord fra område med potetdyrking som hadde rester av flest midler. I 56% av prøvene ble det gjort funn av mer enn 10 forskjellige plantevernmidler. Gjennomsnittlig antall funn i prøver fra potetdyringsområde var på 10,3 forskjellige midler per prøve, noe som var det høyeste gjennomsnittet for de undersøkte kulturene/typene dyrkingsområder. Av prøver fra jord under grønnsaksproduksjon var det 42% som hadde funn av mer enn 10 ulike midler, mens gjennomsnittsantall lå på 7,8 ulike midler per prøve. Prøver fra område med frukttrær hadde en høyere gjennomsnittskonsentrasjon med 8,2 ulike plantevernmidler per prøve og 84% av prøvene inneholdt mellom 6 – 10 ulike plantevernmidler, men andel prøver med mer enn 10 ulike plantevernmidler var lavere (Figur 2). Ingen av prøvene fra områder med frukttrær var uten funn. De fleste prøver uten funn var fra områder med gras og eng, som også gjenspeiles i et lavt antall ulike midler som ble påvist (gjennomsnitt 1,7 midler).



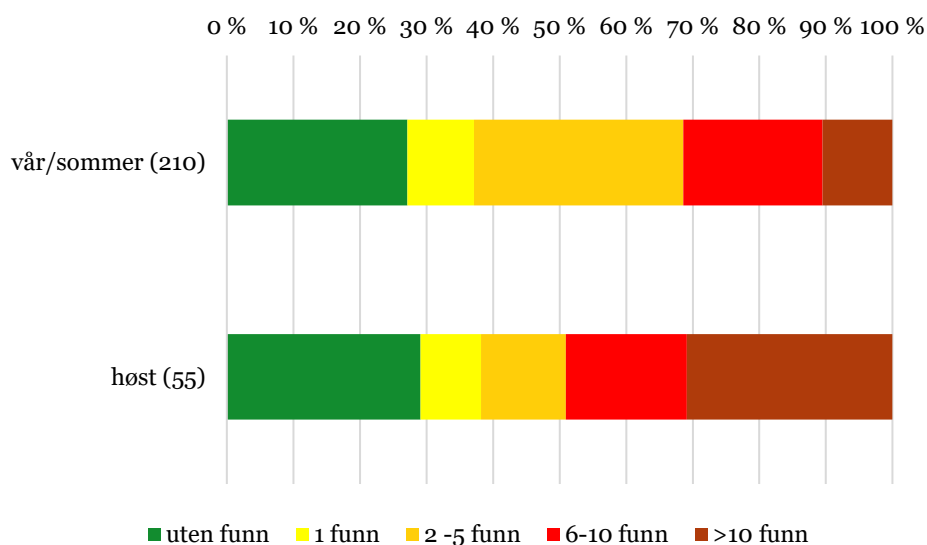
Figur 2. Prosentfordeling av antall funn av ulike plantevernmidler i jordprøvene fra de ulike kulturene. Antall jordprøver i parentes.

I de ulike regionene i Norge var det prøver fra Østlandet, Innlandet og Nord-Norge som hadde høyest andel prøver med funn av over 10 ulike midler (Figur 3). I prøver fra Vestlandet og Trøndelag var det ingen funn av mer enn 10 ulike midler i en prøve. Det var størst andel prøver uten funn blant prøvene fra Sørlandet.



Figur 3: Prosentfordeling av antall ulike plantevernmidler påvist i jordprøver fra de ulike regionene i Norge.

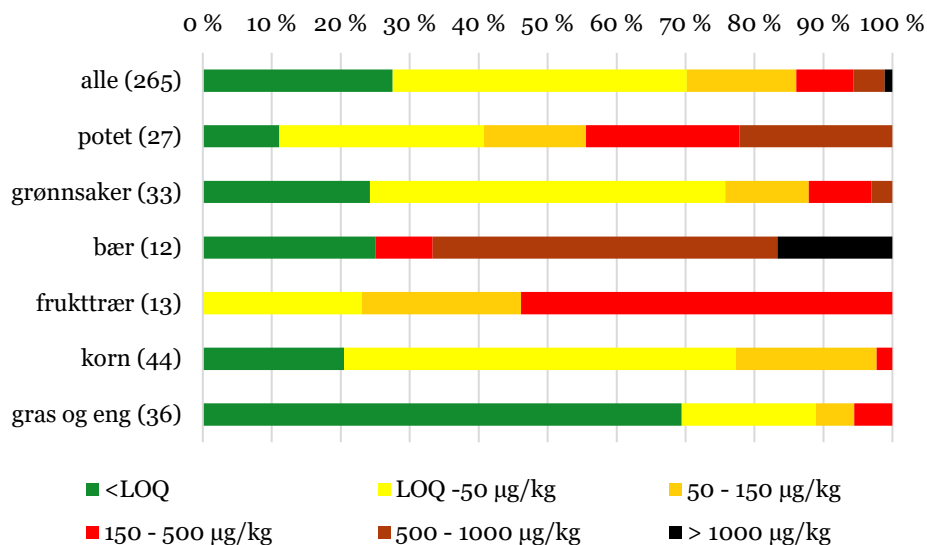
Ser man på prosentfordeling av antall ulike plantevernmidler i en prøve, var det flere av prøvene som ble tatt ut om høsten som hadde funn av en rekke ulike plantevernmidler. Det var 31 % av prøvene tatt ut på høsten som inneholdt over 10 ulike midler mens det tilsvarende var 10 % av prøvene som ble tatt ut vår/sommer (Figur 4). Andel av prøver med 2-5 funn var høyere i prøveuttak vår/sommer, mens andel prøver uten funn var litt høyere i prøvene tatt ut på høsten.



Figur 4: Prosentfordeling av antall midler påvist i jordprøver tatt ut vår/sommer (mars – juli) sammenlignet med jordprøver tatt ut om høsten (august – november).

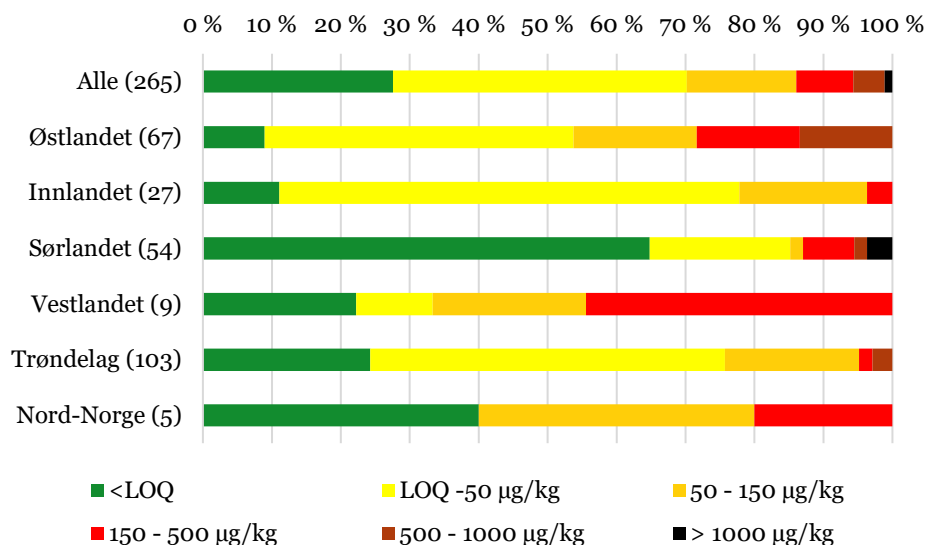
3.1.2 Sumkonsentrasjoner av plantevernmidler i jord

De høyeste sumkonsentrasjoner av plantevernmidler (dvs. summert konsentrasjon av alle plantevernmidler påvist i en og samme prøve) ble påvist i prøver fra område med bærproduksjon. Der ble det påvist sumkonsentrasjoner >1000 µg/kg i 17% av prøvene (Figur 5). Kulturene med sumkonsentrasjoner i området 500-1000 µg/kg var poteter (22%) og grønnsaker (3%). Prøver fra område med frukttrær hadde sumkonsentrasjoner mellom 150 og 500 µg/kg for over halvparten av prøvene (54%), mens det ikke ble påvist sumkonsentrasjoner > 500 µg/kg i noen av disse prøvene. Kulturene hvor de fleste prøver hadde en sumkonsentrasjon <150 µg/kg var korn (98%), gras og eng (94%) og grønnsaker (88%).



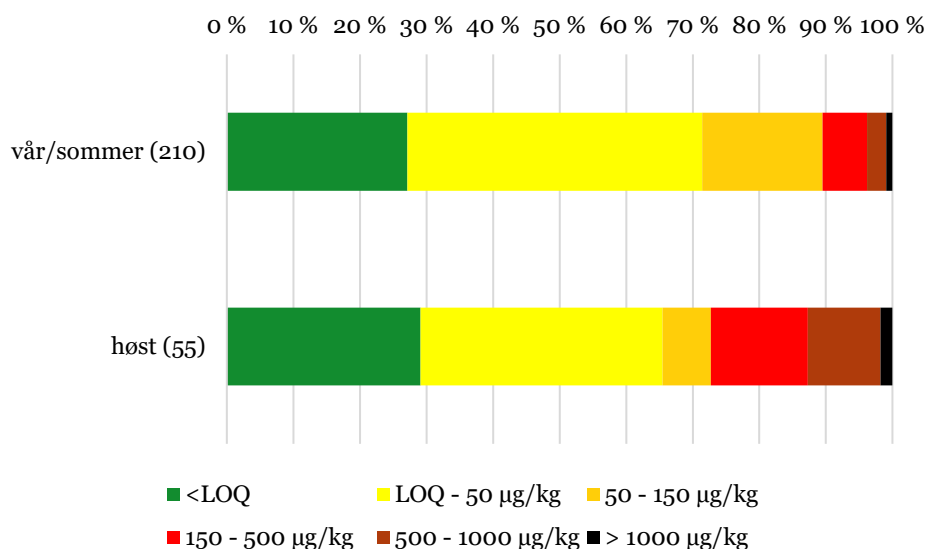
Figur 5: Prosentfordeling av målte sumkonsentrasjoner i jordprøvene fra de ulike kulturene. LOQ = limit of quantification (bestemmelsesgrense for analysemetoden).

Regioner som har sumkonsentrasjoner >500 µg/kg var Østlandet (13%), Sørlandet (6%) og Trøndelag (3%) (Figur 6). Regioner med høyest andel prøver med en sumkonsentrasjon <150 µg/kg var Innlandet (96%), Trøndelag (95%) og Sørlandet (87%).



Figur 6: Prosentfordeling av målte sumkonsentrasjoner i jordprøver fra de ulike regionene i Norge. . LOQ = limit of quantification (bestemmelsesgrense for analysemetoden).

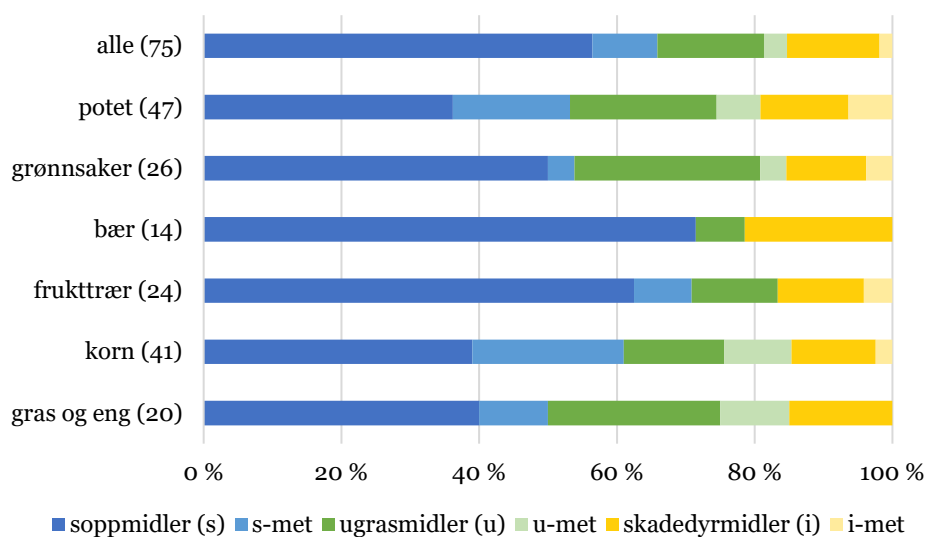
Prosentfordeling av sumkonsentrasjoner påvist i jordprøver tatt ut vår/sommer og høst (uavhengig av år prøveuttaket ble gjennomført) (Figur 7) viser at det var en høyere andel prøver med en sumkonsentrasjon >1000 µg/kg tatt ut om høsten (13%) sammenliknet med vår/sommer (4%). Generelt høyere konsentrasjoner om høsten vises også i en lavere andel av prøver med en sumkonsentrasjon <150 µg/kg (65% i høst og 89% i vår/sommer) selv om andel prøver uten funn var relativt likt (figur 7).



Figur 7: Prosentfordeling av målte sumkonsentrasjoner i jordprøver tatt ut vår/sommer (mars – juli) sammenlignet med jordprøver tatt ut om høsten (august – november). (Sammenstillingen inkluderer prøver fra alle lokaliteter og år.)

3.1.3 Påvisning av ulike grupper av plantevernmidler

Soppmidler var den hyppigst påviste gruppen plantevernmidler (56% av undersøkte jordprøver). Skadedyrmidler og ugrasmidler ble påvist omtrent like ofte med funn i henholdsvis 13% og 16% av de analyserte jordprøvene (Figur 8). Av påvisningene var 30% metabolitter (nedbrytningsprodukter) hvorav 75% var metabolitter fra soppmidler. Prothioconazole-desthio som er en metabolitt av soppmidlet prothioconazole, var det hyppigst påviste stoffet med 80 påvisninger. Stoffet som ble påvist i over 60 prøver inkluderte soppmidlene cyprodinil (76), fluopyram (67), bixafen (66), og cyprodinil metabolitt CGA 249287 (62). Det hyppigst påviste skadedyrmidlet var thiacloprid med 40 funn og det hyppigst påviste ugrasmidlet var metribuzin med 33 funn.



Figur 8: Prosentfordeling av soppmidler, ugrasmidler og skadedyrmidler og deres respektive metabolitter (met) i de ulike midlene påvist i de ulike kulturene.

3.1.4 Plantevernmidler påvist i jordprøver fra ulike produksjoner

Oversikt over antall prøver og prøver med funn er presentert i Tabell 4, som inkluderer høyeste sumkonsentrasjon påvist i en prøve, plantevernmiddel med høyest påvist konsentrasjon, median av sumkonsentrasjon og gjennomsnittlig påvist antall ulike midler for jordprøver tatt ut under ulike kulturer/i ulike produksjoner.

Prøver fra engareal hadde høyest andel uten påvisning av rester av plantevernmidler. For de øvrige kulturene ble det påvist plantevernmidler i over 65% av prøvene. I jordprøver fra areal med frukttrær og bringebær var det funn av plantevernmidler i alle prøvene. Den høyeste sumkonsentrasjonen påvist var 1457 µg/kg og ble påvist i en jordprøve hvor det ble dyrket bringebær.

Den høyeste konsentrasjonen for et enkelt plantevernmiddel ble påvist i en prøve fra bringebærområde på Sørlandet for soppmidlet boscalid (870 µg/kg). (Dette er den samme prøven som hadde høyest påvist sumkonsentrasjon av plantevernmidler). Den nest høyeste konsentrasjonen ble påvist i jord fra potetdyrking på Østlandet og det var av ugrasmidlet prosulfocarb (470 µg/kg). Det ble også påvist konsentrasjoner over 100 µg/kg for flere andre plantevernmidler i kartleggingen, inkludert mandipropamid (462 µg/kg), isoxaben (324 µg/kg), fludioxonil (300 µg/kg), cyazofamid (291 µg/kg), cyprodinil (217 µg/kg), difenoconazole metabolitt (183 µg/kg), fluopyram (144 µg/kg), og azoxystrobin (126 µg/kg). De fleste av disse er soppmidler med unntak av isoxaben som er et skadedyrmiddel.

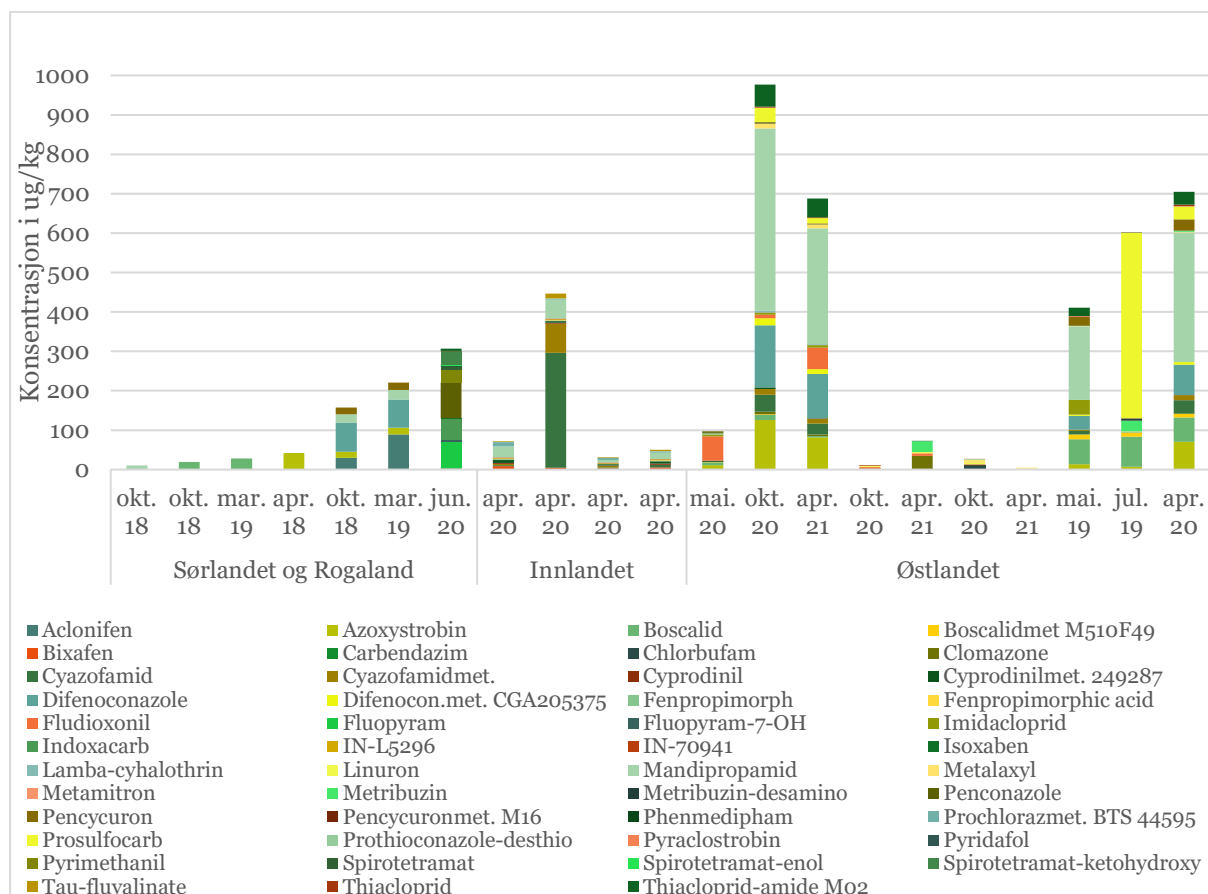
Tabell 4: Tabellen viser prosent (%) av totalt antall prøver, prøver med og uten funn, maksimal og median sumkonsentrasjon, gjennomsnittlig antall ulike midler og høyeste påviste plantevernmiddekkonsentrasjon for hver kultur.

Kultur	Andel av totalt antall prøver (%)	Andel prøver uten funn (%)	Andel prøver med funn (%)	Gj.snitt antall midler per prøve	Maks. sum-kons. i en prøve (µg/kg)	Median av sum-kons. per prøve (µg/kg)	Høyest påvist kons. (µg/kg)
Potet	10	11	89	10,3	976,8	127	470,1 (prosulfocarb)
Grønnsaker	12	24	76	7,8	577,8	39,4	216,7 (cyprodinil)
Jordbær	3	33	67	5,0	927	711,4	617 (boscalid)
Bringebær	1	0	100	9,7	1457	1335	870 (boscalid)
Frukttrær	5	0	100	8,2	407,9	164,8	336,6 (boscalid)
Korn	17	20	80	5,0	170,4	17	76 (diflufenican)
Gras/eng	14	69	31	1,7	291,8	5,5	259,6 (boscalid)
Uten kulturinformasjon	38	25	75	2,7	193	25,4	74,5 (azoxystrobin)
Gjennomsnitt		28	72	5,2		36,7	

3.1.4.1 Plantevernmidler i jordprøver fra potetareal

I undersøkelsen var det inkludert totalt 27 jordprøver fra potetareal, noe som tilsvarer 10% av alle prøvene i denne kartleggingen. Prøvetaking var fordelt på fire ulike lokaliteter i Sørlandet, Østlandet og Innlandet. I to av feltene på Østlandet ble det gjennomført prøvetaking gjennom en vekstsesong, men i sammenstillingen i Figur 9 vises kun data for første prøveuttak vår og siste prøveuttak høst.

I 89% av disse jordprøvene fra potetareal ble det påvist rester av plantevernmidler. Den høyeste sumkonsentrasjonen ble påvist i en jordprøve tatt ut på Østlandet i oktober 2020 med 976,8 µg/kg. På samme felt ble det gjort funn av over 20 forskjellige plantevernmidler i 5 prøver (data ikke vist). Funnene i jordprøver fra potetareal inkluderte også to av de høyeste påviste konsentrasjonene for hele undersøkelsen totalt sett. Det var funn av prosulfocarb (470,1 µg/kg) og mandipropamid (461,8 µg/kg) i to av feltene på Østlandet.



Figur 9. Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra potetproduksjon i µg/kg. Totalt var det 27 prøver hvorav 24 var med funn og som vises her. Det var 4 felt på Sørlandet, 4 felt på Innlandet og 3 felt på Østlandet som hadde funn av plantevernmiddelester. Felt uten funn av plantevernmidler er ikke vist i figuren.

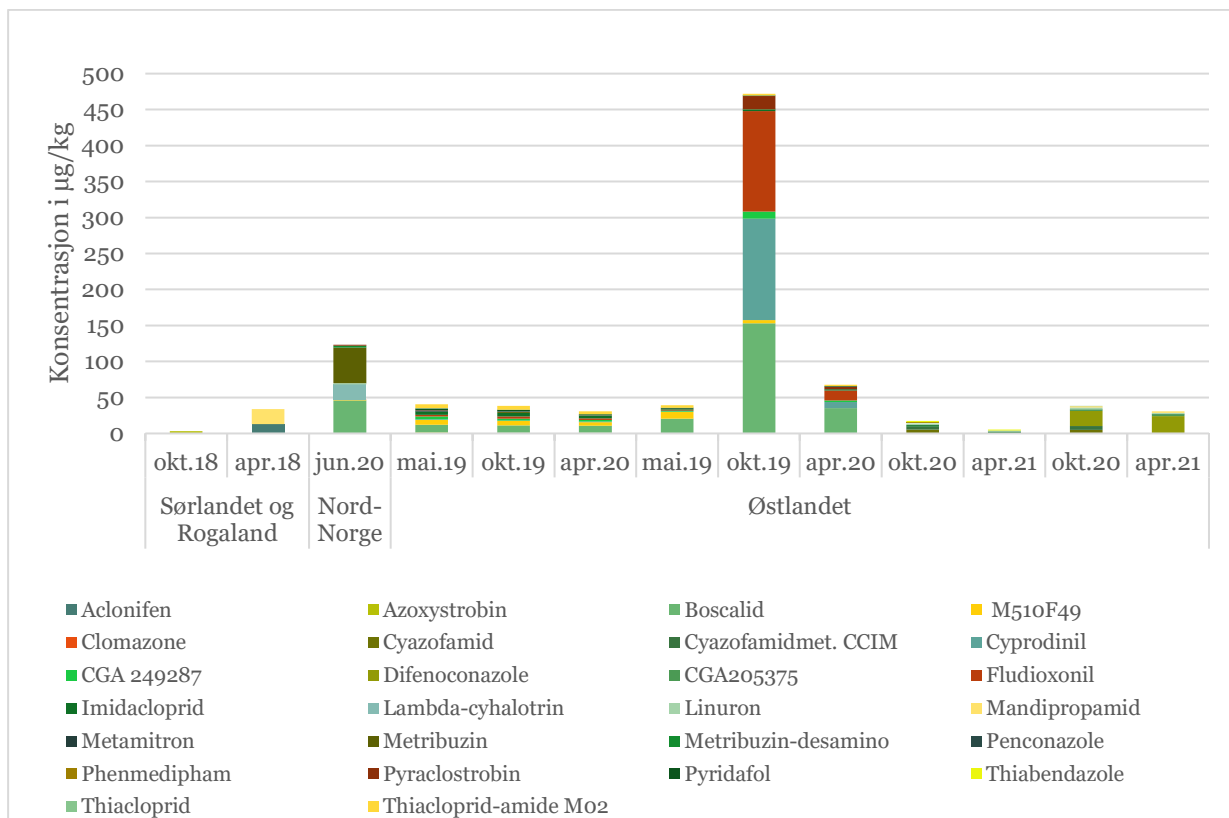
Mandipropamid ble påvist hyppigst med gjenfinning i 60 % av prøvene. Midlene azoxystrobin, boscalid, cyazofamid, cyprodinil, cyprodinil-metabolitt, clomazone, metalaxyl, pencycuron og pyraclostrobin påvist i 40-44% av prøvene. Alle disse er soppmidler med unntak av clomazone som er et ugrasmiddel.

Gjennomsnittlig påvist i konsentrasjon (i prøver med funn) var >100 µg/kg for flere av midlene. Det gjaldt soppmidlene mandipropamid (132,9 µg/kg) og difenoconazole (101,9 µg/kg) og ugrasmidlet prosulfocarb (103,3 µg/kg).

3.1.4.2 Plantevernmidler i jordprøver fra grønnsakareal

Av de analyserte prøvene var det 33 prøver fra areal med grønnsakproduksjon. Dette tilsvarer 12% av alle prøvene i undersøkelsen og inkluderte areal med gulrøtter (4 felt), frilandsagurk (4 felt) og løk (1 felt). Ingen funn ble gjort i jordprøver fra løkproduksjon og disse prøvene er ikke inkludert i figur 3. Prøvetakingssteder var på Sørlandet (2), Østlandet (6) og Nord-Norge (1). I to av feltene på Østlandet ble det gjennomført prøvetaking gjennom en vekstsesong, men sammenstillingen i figur 10 viser kun data for første prøveuttak vår og siste prøveuttak høst.

I 76% av disse prøvene fra grønnsakareal ble det påvist rester av plantevernmidler. De fleste prøvene hadde en sumkonsentrasjon på 30-50 µg/kg, men fire av prøvene hadde en sumkonsentrasjon >150 µg/kg. Det var i prøver fra et gulrotfelt på Østlandet hvor fire av de høyeste konsentrasjonene i grønnsakproduksjon ble påvist. Den høyeste sumkonsentrasjon påvist i prøve tatt ut i september 2019 (577,8 µg/kg; ikke vist i Figur 10) hvor også høyeste sumkonsentrasjon fra prøveuttak i oktober 2019 ble påvist (471,8 µg/kg; Figur 10).



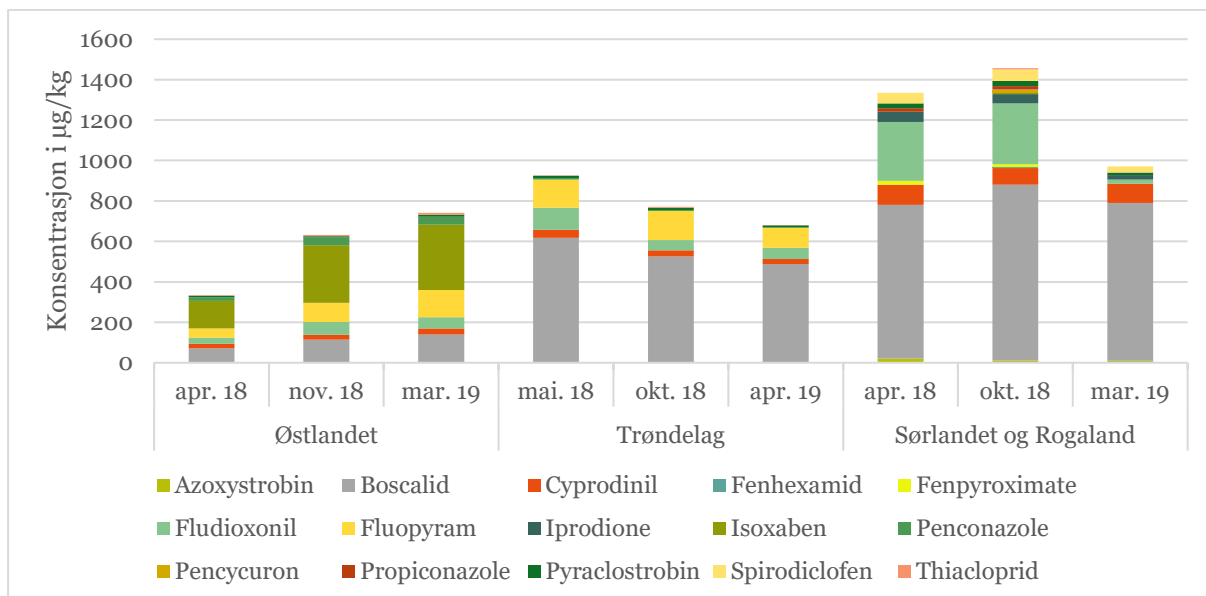
Figur 10. Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra grønnsakproduksjon i µg/kg. Totalt var det 33 prøver hvorav 13 prøver med funn vises her. Det var 2 felt på Sørlandet, 1 felt i Nord-Norge og 4 felt på Østlandet som hadde funn av plantevernmidler. Felt uten funn av plantevernmidler er ikke vist i figuren.

Totalt ble det påvist 26 ulike plantevernmidler i disse jordprøvene, hvorav 50% var soppmidler, 27% ugrasmidler og 12% skadedyrmedier. Skadedyrmediet imidacloprid var det hyppigst påviste midlet med 22 påvisninger (67% av prøvene). Andre ofte påviste stoffer inkluderte boscalid, boscalid metabolitt M50F49, cyprodinil metabolitt CGA 249287, fludioxonil, metribuzin, pyridafol, thiacloprid, thiacloprid-amid (påvist i $\geq 55\%$ av prøvene). De fleste av disse var soppmidler eller metabolitter av soppmidler. Høyest påvist konsentrasjon av et enkelt stoff var for cyprodinil med 216,7 µg/kg, mens høyeste gjennomsnittskonsentrasjon (i prøver med funn) var for boscalid med 45,2 µg/kg.

3.1.4.3 Plantevernmidler i jordprøver fra bærareal

Undersøkelsen inkluderte totalt 25 jordprøver fra areal med frukt- og bærproduksjon, noe som tilsvarer 9,4% av det totale antall prøver undersøkt. Bærproduksjon omfattet ett felt under bringebærproduksjon på Sørlandet og totalt tre felt med jordbærproduksjon fra Sørlandet (1), Østlandet (1) og Trøndelag (1). Prøvetaking fra areal fruktproduksjon (epler og plommer) inkluderte felt på Østlandet (2), Vestlandet (2) og Innlandet (1).

For jordbærfeltene ble det påvist rester av plantevernmidler i 67 % av prøvene, mens 33% var uten påvisbare rester av plantevernmidler. Prøvene uten plantevernmidler var alle fra et felt på Sørlandet og vises ikke i sammenstillingen i Figur 11. Prøvene med funn hadde en sumkonsentrasjon av plantevernmidler på 150 µg/kg eller mer. Den høyeste sumkonsentrasjon var 927 µg/kg i en prøve fra Trøndelag i mai 2018. Høye konsentrasjoner skyldes hovedsakelig funn av soppmidlet boscalid (Tabell 4). Totalt ble det påvist 8 ulike midler i jordprøver fra jordbærareal, hvorav 75% var soppmidler.

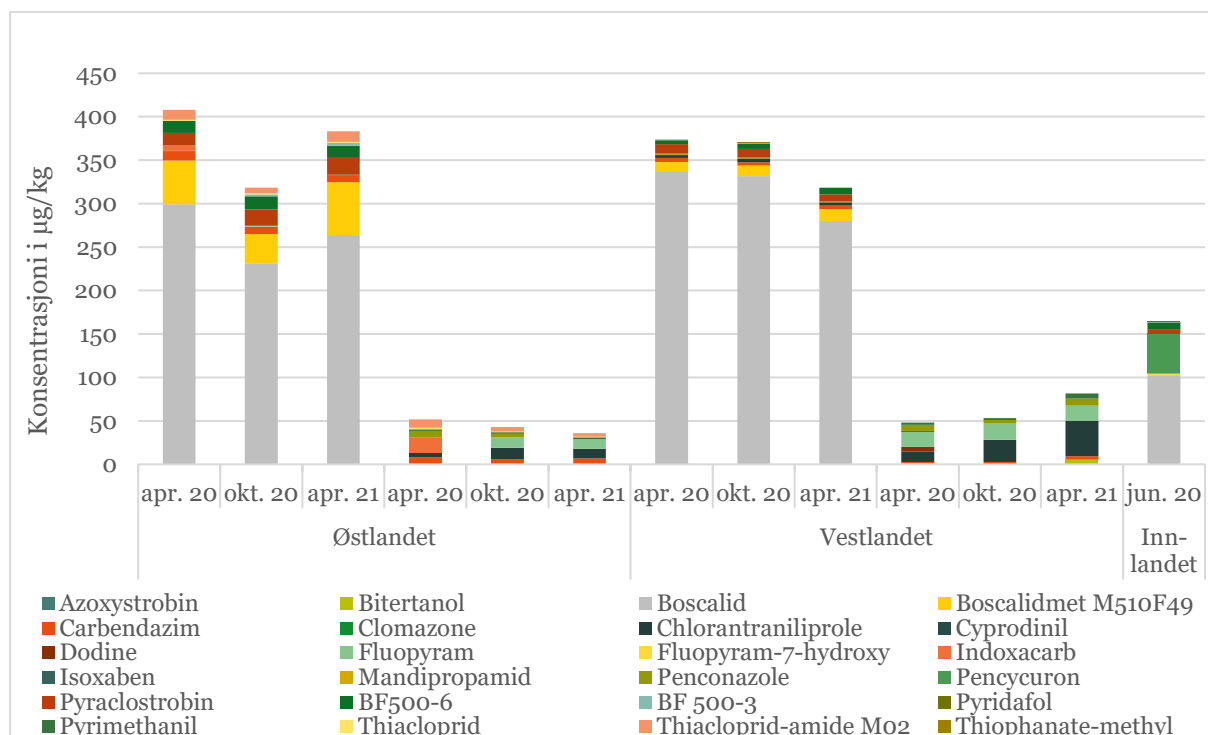


Figur 11: Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra bærproduksjon i µg/kg. Totalt var det 12 prøver hvorav 9 prøver med funn vises her. Det var 2 felt på Sørlandet, 1 felt i Trøndelag og 1 felt på Østlandet som hadde funn av plantevernmidler. Felt uten funn av plantevernmidler er ikke vist i figuren.

Jordprøver fra areal med bringebærproduksjon inkluderte kun prøvetaking på ett felt på Sørlandet. Arealen ble prøvetatt ved tre tidspunkt og ved to av tilfellene var påviste sumkonsentrasjoner >1000 µg/kg (april og oktober 2018; Figur 11). Funn av soppmidlet boscalid utgjorde hoveddelen av de høye sumkonsentrasjonene, men fludioxonil ble også påvist i høye konsentrasjoner. Totalt ble det gjort funn av 13 ulike plantevernmidler hvorav 92% soppmidler.

3.1.4.4 Plantevernmidler i jordprøver fra fruktareal

Undersøkelsen inkluderte også jordprøver fra areal med eple- og plommetrær. Det ble påvist plantevernmidler i alle jordprøvene (13) fra areal med frukttrær. Om lag halvparten av prøvene (6) hadde en sumkonsentrasjon på mellom 40 og 160 µg/kg, mens de resterende prøvene (7) hadde en sumkonsentrasjon på om lag 300-400 µg/kg (Figur 12). Prøvene med høyest sumkonsentrasjon var alle fra areal med plommeproduksjon. De fleste av de påviste midlene var soppmidler (63%). Plantevernmidlet med høyest påvist konsentrasjon var boscalid med 336,6 µg/kg i en prøve fra april 2020 (plommeproduksjon, Vestlandet). Det hyppigst påviste midlet var carbendazim, som ble påvist i 12 av 13 prøver. I tillegg var chlorantraniliprole, penconazole, boscalid og metabolitt av boscalid ofte påviste midler med 8-9 påvisninger hver.

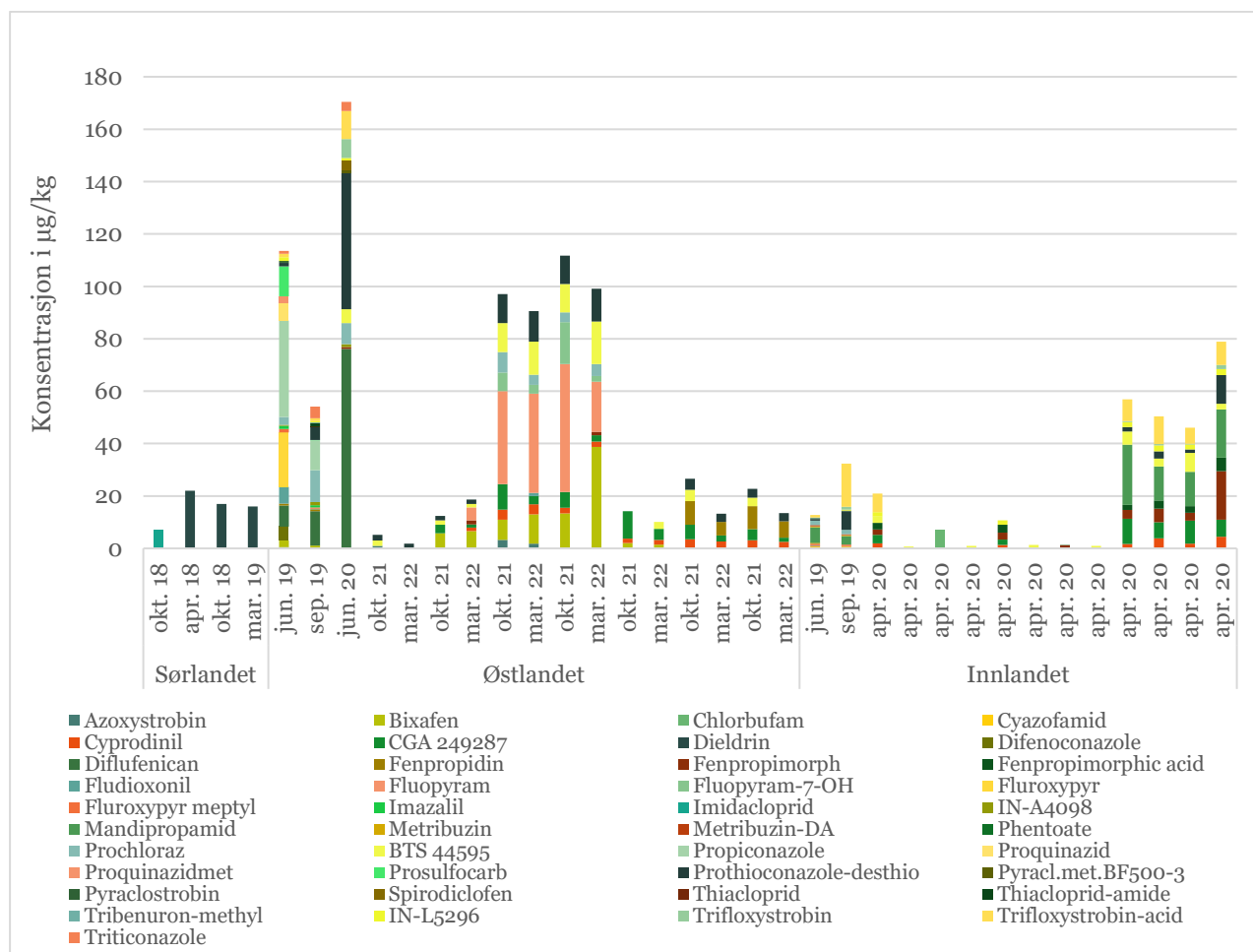


Figur 12. Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra fruktproduksjon i µg/kg. Totalt var det 13 prøver. Det var 2 felt på Østlandet, 2 felt på Vestlandet og 1 felt på Innlandet.

3.1.4.5 Plantevernmidler i jordprøver fra kornareal

De fleste analyserte jordprøver i undersøkelsen var fra areal med kornproduksjon og utgjorde 17% av det totale antall prøver. Prøvetakingssteder var på Sørlandet (3), Østlandet (9) og Innlandet (14). Det var funn av plantevernmidler i 80% av disse prøvene og i de fleste tilfeller (77%) var påvist sumkonsentrasjon under 150 µg/kg. Resultater for prøvene med funn er vist i Figur 13. Prøven med høyest påvist sumkonsentrasjon i kornproduksjon var fra juni 2020 på Østlandet. Der ble det påvist 170,4 µg/kg, hovedsakelig på grunn av funn av diflufenican (76 µg/kg) og metabolitten prothioconazole-desthio (51,9 µg/kg), som også var de stoffene med høyest påvist konsentrasjon i jordprøver fra kornareal. Andre plantevernmidler med høye påviste konsentrasjoner var bixafen (38,7 µg/kg), fluopyram (48,7 µg/kg) og propiconazole (36,8 µg/kg). Middelet med flest påvisninger var prothioconazole-desthio (metabolitt av prothioconazole) som ble påvist i 48% av prøvene. Nest hyppigst påviste midler var prochloraz metabolitt BTS 44959 (45%), cyprodinil (43%) og cyprodinil metabolitt CGA 249287 (41%).

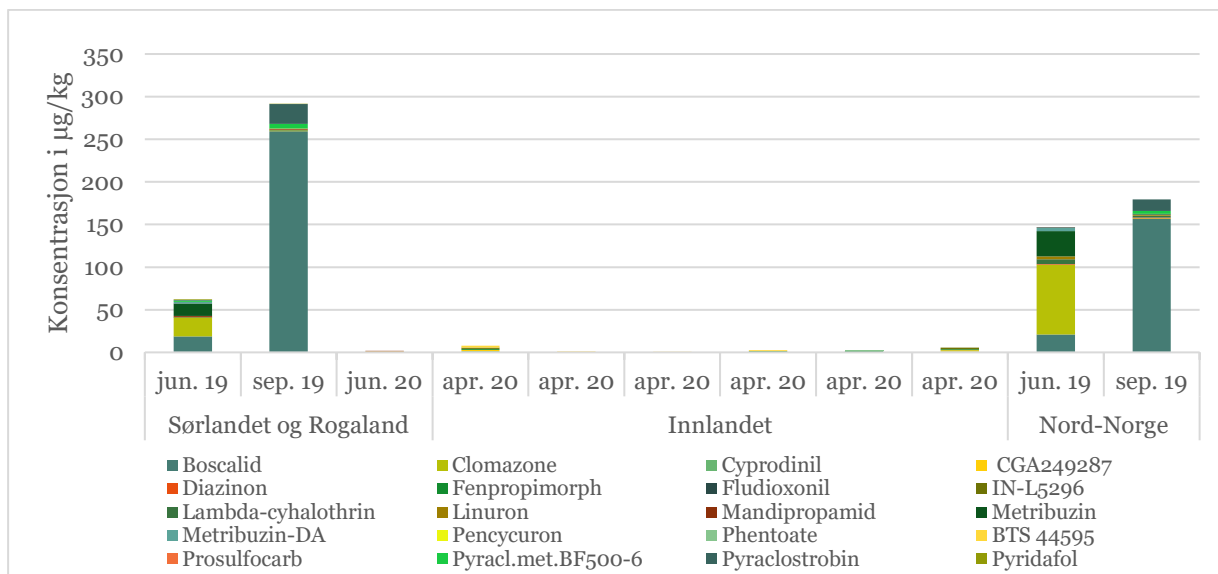
Totalt ble det påvist 41 ulike midler i 44 jordprøver fra kornareal, hvorav soppmidler utgjorde 39%, metabolitter av soppmidler 22% og ugrasmidler 15%.



Figur 13. Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra kornproduksjon i µg/kg. Totalt var det 44 prøver hvorav 35 prøver med funn vises her. Det var 2 felt på Sørlandet, 7 felt i Østlandet og 13 felt i Innlandet som hadde funn av plantevernmidler. Felt uten funn av plantevernmidler er ikke vist i figuren.

3.1.4.6 Plantevernmidler i jordprøver fra gras- og engareal

Jordprøver fra areal med gras- og engproduksjon utgjorde 14% av prøvene. Prøvetakingssteder var på Sørlandet (12), Vestlandet (2), Innlandet (7), og Nord-Norge (3). Det ble påvist rester av plantevernmidler i 31 % av prøvene, mens 69% av prøvene var uten funn av plantevernmidler. Det var generelt lave funnkonsentrasjoner, med sumkonsentrasjoner under 10 µg/kg. Det ble imidlertid påvist høyere konsentrasjoner i jordprøver fra en lokalitet i Nord-Norge og en lokalitet på Sørlandet (Figur 14). I begge tilfeller var det soppmidlet boscalid som ble påvist i høyest konsentrasjon (259,6 µg/kg på Sørlandet; 159,7 µg/kg i Nord-Norge). På disse feltene ble de høyeste konsentrasjonene målt i prøvene tatt i september, mens prøvene tatt ut i juni viste lave konsentrasjoner, spesielt i prøver tatt ut på Sørlandet. Det ble påvist 20 ulike midler hvorav 40% var soppmidler, 25 % var ugrasmidler og 15% var skadedyrmedler. De ulike midlene ble påvist mellom én og fire ganger.



Figur 24: Konsentrasjon av plantevernmidler i jordprøver fra gras og eng i µg/kg. Totalt var det 36 prøver, hvorav 11 prøver med funn vises her. Det var 3 felt på Sørlandet, 6 felt i Innlandet og 2 felt i Nord-Norge som hadde funn av plantevernmidler. Felt uten funn av plantevernmidler er ikke vist i figuren.

3.2 Påviste konsentrasjoner og effektkonsentrasjoner i jord

Det er gjort en sammenlikning mellom påviste plantevernmiddelkonsentrasjoner og ingen-effekt konsentrasjoner (NOEC) for meitemark i jord, hentet fra godkjenning dokumentasjonen for plantevernmidler. NOEC sier noe om ved hvilke konsentrasjonsnivåer et plantevernmiddel kan ha kroniske effekter på en organisme og angir dosen en testorganisme ble utsatt for i en test hvor ingen effekter ble observert. Kronisk effekter av plantevernmidler på meitemark undersøkes i form av effekten på reproduksjon. Konsentrasjonsnivåene av plantevernmidler som vi påviste i jordbruksjord i denne kartleggingen var alle lavere enn etablerte NOEC for meitemark (Tabell 5). For noen av plantevernmidlene som hadde en høy påvist maksimumskonsentrasjon i jordprøvene foreligger det ingen/utilstrekkelig med data for NOEC for meitemark. Dette gjelder ugrasmidlet prosulfocarb, soppmidlet cyprodinil og difenoconazole metabolitt (CGA205375; metabolitt av soppmidlet difenoconazole), som har påviste konsentrasjoner i jord over 100 µg/kg. For metabolitter, dvs. nedbrytningsprodukter, av plantevernmidler foreligger det ofte lite eller ingen informasjon om giftighet for jordorganismer, samtidig som metabolitter i mange tilfeller kan være giftigere enn morstoffet (Andreu & Pico, 2004). Kartleggingen her inkluderer et stort antall ulike plantevernmidler og metabolitter som er analysert ved hjelp av en kostnadseffektiv screeningmetode. Enkelte viktige plantevernmidler som krever spesialmetoder er ikke inkludert, deriblant ugrasmidlet glyfosat.

Det skal også nevnes at mangfold av jordorganismer er stort (og noen av dem kan være mer sensitive enn meitemark som ble demonstrert for spretthaler (Collembola) (Joimel et al., 2022) eller som er ikke representert i studiene som for eksempel mykorrhiza (Ockleford et al., 2017).

Tabell 5. Påviste maksimale plantevernmiddelkonsentrasjoner i de undersøkte jordprøvene sammenliknet med ingen-effekt konsentrasjoner (NOEC) for meitemark i jord for de 10 plantevernmidlene av de undersøkte midlene med lavest NOEC for meitemark i jord. NOEC er hentet fra Pesticide Properties database (PPDB) i mai 2023 (Lewis et al., 2016).

Plantevernmiddel	NOEC meitemark (µg/kg)	Maks påvist konsentrasjon (µg/kg)
Imidacloprid	178	37,1
Rimsulfuron metabolitt IN-70941	180	1,8
Thiacloprid	185	10,7
Difenoconazole	200	74,0
Tribenuron methyl IN-L5296	200	2,3
Clomazone	800	81,8
Prothioconazole-desthio	1000	51,9
Carbendazim	1000	10,8
Cyprodinilmet CGA 249287	1130	10,6
Boscalid	1197	870,0

Studier av økotoksikologiske effekter og skjebne av plantevernmidler og deres nedbrytningsprodukter i miljøet er en viktig del av godkjenning av plantevernmidler (EC, 2009). Data om rester av plantevernmidler i miljø og deres nedbrytningstid under relevante bruksbetingelser er en viktig del av dokumentasjonspakken som kreves ved søknad om godkjenning. Norge er ikke (godt nok) representert i modellscenarier som brukes for å predikere miljøkonsentrasjoner ved ulike aktuelle bruksområder for de ulike plantevernmidlene (VKM, 2021). Samtidig er det dokumentert at den faktiske konsentrasjon eller persistens i miljøet kan være høyere i Norge enn det som blir vurdert i godkjenningen som er basert på europeiske/EU-scenarier (VKM, 2015). I tillegg har studier som tester kroniske økotoksikologiske effekter på for eksempel meitemark en relativt kort varighet (28 dager) og bruker kunstig jord som testsubstans (OECD, 2016). Resultatene fra disse kan dermed avvike fra hva som vil være representativt for norske feltforhold og vi mangler derfor data om den reelle eksponeringen i norsk jordbruksjord. Det er spesielt viktig å ta i betraktning at det gjenfinnes en blanding av plantevernmidler i jord, hovedsakelig soppmidler, som kan påvises gjennom store deler av vekst-/dyrkingssesongen og at flere av midlene som påvises er rester etter tidligere års sprøyting som ikke er brutt ned over tid. Dette kan indikere at den faktiske kroniske eksponering er av mye lenger varighet enn studiene som utføres før godkjenning og tilsier at den samlede effekten av flere plantevernmidler må undersøkes nærmere.

3.3 Bruk av plantevernmidler

Plantevernmiddelforskriften (FOR-2015-05-06-455) som trådte i kraft 1. juni 2015 pålegger alle dyrkere å følge prinsippene for integrert plantevern (IPV) hvor kjemisk plantevern er en siste utvei når andre tiltak ikke er tilstrekkelig. Når det er behov for bruk av kjemiske plantevernmidler for å oppnå god nok kontroll med en skadegjører så tilsier prinsippene for IPV at man skal bruke minst mulig plantevernmiddel, veksle mellom ulike grupper av middel og unngå for høye doseringer. Siste utvalgsundersøkelse om bruk av plantevernmidler gjennomført av SSB i 2017 (Aarstad og Bjørlo, 2019) inkluderte også spørsmål relatert til IPV, med vekt på forebygging og bruk av alternativer til kjemiske plantevernmidler (vekstskifte, mekanisk bekjempelse, såtid, friskt plantemateriale, resistente planter eller såvarer, tilpasset gjødsling, drenering, biologisk bekjempelse, annet). For mange av disse typene tiltak svarte generelt over 50% av produsentene innenfor de ulike produksjonene at de benyttet slike tiltak. Vekstskifte og friskt plantemateriale var av tiltakene som var mest benyttet på tvers av kulturer, og i mange av de undersøkte produksjonene (potet, løk, kål, gulrot, jordbær, hvete og oljevekster) svarte 80-95% av utvalget at de benyttet denne type tiltak.

Behovet for sprøyting vil variere med felt, sorter og lokale forhold og beslutning om planteverntiltak må baseres på observasjoner av skadegjørerne, kunnskap og erfaringer. Bruk av plantevernmidler varierer dermed fra år til år. Vi har her valgt å vise fram eksempler for hver av de ulike produksjonene, på innrapportert sprøyting på et utvalg av de areal hvor det er tatt ut jordprøver i denne kartleggingen.

Data om sprøyting var ikke tilgjengelig for alle de undersøkte feltene. Informasjonen er supplert med seneste publiserte statistikk på bruk av plantevernmidler i jordbruket (Aarstad og Bjørlo, 2019).

3.3.1 Plantevernmiddelbruk i potetproduksjon

På potetareal på Sørlandet (prøvetatt 2018-2019) ble det sprøytet med 10 ulike handelspreparater av plantevernmidler som inkluderte like mange aktive stoffer (Tabell 6). Tre av de benyttede aktive stoffene ble påvist i jordprøvene. De aktive stoffene var i hovedsak soppmidler.

Tabell 6. Handelspreparat av plantevernmidler sprøytet på potet arealet i 2018 på Sørlandet. Sprøyting omfattet tre forskjellige felt på samme område.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse**
Sprøyting 2018	Sencor WG 70	Metribuzin	U
	Titus WSB	Rimsulfuron	S
	Consento SC 450	Propamocarb, Fenamidone	S
	Ranman/ Ranman Top	Cyazofamid	S
	Reglone	Diquat dibromide	U
	Revus/ Revus Top	Difenoconazol*, Mandipropamid*	S
	Centium 36 CS	Clomazone	U
	Fenix	Aclonifen*	U

*Plantevernmiddel påvist i jordprøvene. ** U= ugras-; I= skadedyr-; S=soppmiddel.

På Østlandet var det ett felt med informasjon om sprøyting i årene med prøvetaking og det gjelder for prøvene mai 2020, oktober 2020 og april 2021 (de første 3 prøvene fra Østlandet i Figur 9). Der ble det sprøytet med 10 forskjellige handelspreparater av plantevernmidler som inneholdt 12 ulike aktive stoffer (Tabell 7). Ni av de aktive stoffene ble påvist i jordprøvene. Hovedsakelig ble det sprøytet med soppmidler.

Tabell 7. Handelspreparat av plantevernmidler sprøytet på ett av potetfeltene i 2020 på Østlandet.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse**
Sprøyting 2020	Boxer	Prosulfocarb*	U
	Centium 36 CS	Clomazone*	U
	Fenix	Aclonifen	U
	Karat 5 CS	Lambda-cyhalothrin*	I
	Biscaya OD 240	Thiacloprid*	I
	Ridomil Gold Mz Peptide	Mancozeb, metalaxyl-M*	S
	Zetrola	Propaquizafop	U
	Revus Top	Difenoconazole*, Mandipropamid*	S
	Amistar	Azoxystrobin*	S
	Ranman Top	Cyazofamid*	S

*Plantevernmiddel påvist i jordprøvene. ** U= ugras-; I= skadedyr-; S=soppmiddel.

Nyeste versjon av SSBs statistikk over bruk av plantevernmidler (Aarstad og Bjørlo 2019) viser at over 90% av potetarealet sprøytes med ugrasmiddel og at Sencor (metribuzin) og Titus WSB (rimsulfuron) er mye brukt. Tilsvarende benyttes soppmiddel på over 90% av arealet, med Revus (mandipropamid) og Ranman Top (cyazofamid) som viktige middel (tørråte). Skadedyrmidler brukes på en mye mindre arealandel, med et gjennomsnitt på om lag 30% for perioden 2001-2017 (med unntak av 2014 med 60% sprøytet areal).

3.3.2 Plantevernmiddelbruk i grønnsakproduksjon

For grønnsakproduksjon var det i hovedsak areal under agurk- og gulrotproduksjon som er representert med jordprøver i denne undersøkelsen. På Sørlandet var det uttak av prøver fra to felt med agurk. Her ble det kun sprøytet med glyfosat (ikke i kulturen) i 2018 (Tabell 8).

Tabell 8. Handelspreparat av plantevernmidler sprøytet på frilandsagurk i 2018 på Sørlandet. U= ugrasmiddel.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse
Sprøyting 2018	Roundup Eco	Glyphosate	U

For gulrotproduksjon vises det et eksempel for sprøyting i de to undersøkte feltene på Østlandet. Jordprøvene her ble tatt fra mai 2019 til april 2020. Det ble sprøytet med fire ulike handelspreparater av plantevernmidler med totalt seks ulike aktive stoffer, fire soppmiddel og to ugrasmiddel (Tabell 9). Fem av disse ble påvist i jordprøvene.

Tabell 9. Handelspreparat av plantevernmidler sprøytet på to felt meg gulrotproduksjon i 2019 på Østlandet.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse**
Sprøyting 2019	Fenix	Aclonifen	U
	Sencor WG 70	Metribuzin*	U
	Signum	Pyraclostrobin*, boscalid*	S
	Switch 62,5 WG	Fludioxonil*, cyprodinil*	S

*Plantevernmiddel påvist i jordprøvene. **U= ugras-; S=soppmiddel.

SSBs statistikk over bruk av plantevernmidler i jordbruket (Aarstad og Bjørlo 2019) tilsier at ugrasmiddel brukes på ca. 90% av gulrotarealet, mens sopp- og skadedyrmedler brukes på en lavere andel (om lag 60-65% i gjennomsnitt for statistikkperioden). Mye brukte ugrasmiddel ved undersøkelsen i 2017 var Fenix (aclonifen) og Sencor (metribuzin), mens Signum (pyraclostrobin, boscalid) og Rovral 75 WG (iprodion) var mye brukte soppmiddel, og Karate 5 CS/2,5 WG (lambda-cyhalotrin) mye brukte skadedyrmedler. (Rovral 75 WG er ikke tillatt brukt etter 05.06.2018).

3.3.3 Plantevernmiddelbruk i bringebærproduksjon

På felt fra Sørlandet som var under bringebær dyrking når jordprøvene ble tatt i 2018 ble det sprøytet med 11 ulike handelspreparater av plantevernmidler i 2017 og 1 preparat i 2018 (Tabell 10). I 2018 var det veldig tørre forhold og trolig mindre utfordringer med planteskadegjørere.

Tabell 10. Handelspreparat av plantevernmidler sprøytet i 2017 og 2018 på bringebærrområde i Sørlandet.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse**
Sprøyting 2017	Calypto SC 480	Thiacloprid*	I
	Conserve	Spinosad	I
	Danitron	Fenpyroximate*	I
	Envidor 240 SC	Spirodiclofen*	I
	Floramite 240 SC	Bifenazate	I
	Karate 5 CS	Lambda-cyhalothrin	I
	Lentagran WP	Pyridate	U
	Nordox 75 WG	Copper(I)oxide	S
	Signum	Pyraclostrobin*, boscalid*	S
	Teldor WG	Fenhexamid*	S
	Reglone	Diquat dibromid	U
Sprøyting 2018	Roundup Eco	Glyphosate	U

*Plantevernmiddel som ble påvist i jordprøvene. ** U= ugrasmiddel, I= skadedyrmedel, S= soppmiddel

Av 13 forskjellige påviste midler var det 6 som ble sprøytet året før jordprøvene ble tatt. I 2018 ble det bare sprøytet med glyfosat, men glyfosat er ikke med i søkespekter for analysene og derfor er sprøyteinformasjon fra 2017 med her. I 2017 var arealet også under bringebærproduksjon.

Boscalid ble sprøytet i juni 2017 men ble påvist i høye konsentrasjoner i jorda året etter (760 µg/kg i jordprøve fra april 2018 og 870 µg/kg i oktober 2018). Boscalid er et veldig persistent middel med en halveringstid i felt av 254 dager (PPDB; Lewis et al., 2016).

Midler som ble påvist i jordprøvene, men ikke rapportert bruk i 2017 eller 2018 inkluderer azoxystrobin, cyprodinil, fludioxonil, iprodion, isoksaben, pencycyron, og propiconazole.

SSBs statistikk over bruk av plantevernmidler inkluderer ikke detaljerte data for bringebær. Statistikk for jordbær (Aarstad og Bjørlo 2019) viser at om lag 85% av dette arealet sprøytes med ugrasmidler, >90% med soppmidler og ca. 85% med skadedyrmidler.

3.3.4 Plantevernmiddelbruk i korn

I kornproduksjon på Sørlandet ble det sprøytet med fire ulike handelspreparater av plantevernmidler, som inkluderte 7 ulike aktive stoffer, i 2018 (Tabell 11). De fleste var ugrasmiddel. Ingen av stoffene som ble sprøytet ble påvist i jordprøvene.

Tabell 11. Handelspreparat av plantevernmidler brukt i kornproduksjon i 2018 på Sørlandet.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse*
Sprøyting 2018	Ariane S	MCPA, Clopyralid, Fluroxypyr-mepthyl	U
	Express Gold SX	Metsulfuron-methyl, tribenuron-methyl	U
	Roundup Eco	Glyphosate	U
	Titus	Rimsulfuron	S

*U= ugras-; S=soppmiddel.

På ett av områdene på Østlandet (prøver tatt ut i 6 felt her) ble det sprøytet med 8 ulike handelspreparater av plantevernmidler med totalt 11 ulike aktive stoffer i 2021 (Tabell 12). De fleste av stoffene var ugrasmidler. Ingen av disse ble påvist i jordprøvene som ble tatt på disse feltene i perioden oktober 2021 – mars 2022.

Tabell 12. Handelspreparat av plantevernmidler brukt i korn produksjon i 2021 på ett område på Sørlandet.

	Handelspreparat	Plantevernmiddel	Stoff klasse*
Sprøyting 2021	Ariane S	MCPA, Clopyralid, Fluroxypyr-mepthyl	U
	Express Gold SX	Metsulfuron-methyl, tribenuron-methyl	U
	Flurostar 200	Fluroksypyr-mepthyl	U
	Evure neo	tau-Fluvalinat	I
	Gallup super 360	Glyphosate	U
	Roundup Eco	Glyphosate	U
	Pixxaro EC	Halauxifen-methyl, fluroxypyr-mepthyl	U
	Mustang forte	Florasulam, Aminopyralid, 2,4-D-EHE	U

*U= ugras-; I=skadedyrmiddel.

For kornproduksjon viser SSBs statistikk for bruk av plantevernmidler (Aarstad og Bjørlo 2019) at 90-95% av arealet sprøytes med ugrasmidler, 5-70% av arealet sprøytes med soppmidler (avhengig av år

og kornsort, med generelt lite sprøyting i havre) og kun et lite areal som behandles med skadedyrmidler. Resultater fra JOVA-overvåkingen viser at bruken av soppmidler varierer mye mellom år, men at det har vært en økende tendens det siste 10-året (Bechmann et al., 2021).

3.3.5 Plantevernmiddel bruk i gras og eng

For areal med gras og eng som var inkludert i undersøkelsen, var informasjon om sprøyting tilgjengelig for ett område på Sørlandet. Det ble ikke påvist noen plantevernmidler i jordprøvene som ble tatt ut i disse feltene. Prøvetakingen her inkluderte 10 ulike felt i både 2021 og 2022. Alle midler som ble brukt var ugrasmidler og inkluderte bruk av glyfosat (Roundup Energy, Roundup Eco, Glypper), MCPA (N-MCPA 750, MCPA 750 Flytende), tibenuron-methyl (Trimmer 50 SG), og fluroxypyr-mepthyl + florasulam (Cleave).

For feltene under denne produksjonen hvor vi fant rester av plantevernmidler var informasjon om sprøyting ikke tilgjengelig.

SSBs statistikk over bruk av plantevernmidler i jordbruket (Aarstad og Bjørlo 2019) viser sprøyting på under 10% av arealene med eng- og beitevekster. Det er i hovedsak ugrasmiddel og totalbrakkingsmiddel som brukes på disse arealene.

3.4 Jordhelse og plantevernmidler – status og kunnskapshull

Det er økt interesse i samfunnet for bærekraftig jordbruk og nødvendigheten av å bevare god jordkvalitet og jordhelse, som er svært viktig for matsikkerhet og å opprettholde matproduksjon. Jord er del av mange strategier og tiltaksplaner i EU som for eksempel «EU soil strategy for 2030», «A Soil Deal for Europe», og «EU Action Plan: Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil». I juli 2023 ble det foreslått et nytt regelverk av EU kommisjonen om jordovervåking («Soil Monitoring Law») med stor vekt på jordhelse og at medlemslandene skal opprette et overvåkningsprogram for jordhelse. I forslaget til det nye regelverket spesifiseres det indikatorer for sunn jord og dels også konkrete verdier for hva som definerer en sunn jord (EC, 2023). Når det gjelder forurensning av jord foreslås ingen konkrete verdier og medlemslandene må eventuelt definere slike grenser selv. Plantevernmidler er ikke spesifikt nevnt i forslaget, men faller inn under parameteren «concentration of a selection of organic contaminants» (EC,2023) og kriteriet for sunn jord er her definert som «that no unacceptable risk for human health and the environment from soil contamination exists».

Siden 2009 finnes det et jordovervåkningsprogram i EU (LUCAS) til vurdering av jordsmonnsegenskaper i forhold til arealbruk. Som del av LUCAS, ble rester av 118 plantevernmidler undersøkt i jordprøver fra 3431 lokaliteter i 2018 (Orgiazzi et al., 2022). I 2023 har Norge begynt å utvikle et jordovervåkningsprogram; JordVAAK-programmet ledet av NIBIO; som er tilknyttet EU LUCAS og skal vurdere en rekke indikatorer som vil beskrive jordsmonnets tilstand på jordbruksjord over hele landet. Fokus er på erosjon, tap av organisk materiale, tap av biodiversitet, jordpakking og forurensning som anses som hovedtrussel for norsk jordsmonn. NIBIO er også en del av et stort europeisk prosjekt «European Joint Programme on Soil» (EJP Soil) som jobber mot klimasmart og bærekraftig jordforvaltning i EU/EØS-land og inkluderer et arbeid for å identifisere egnede jordhelseindikatorer. I SERENA prosjektet, finansiert under EJP Soil, ble medlemsland spurt om hva som er viktige trusler mot jord. Resultatet der var at jordpakking, erosjon og tap av organisk karbon anses som veldig viktig mens forurensninger i jord anses som mindre viktig.

I Norge anbefales det å måle plantevernmiddelrester i jord som del av et jordovervåkingsprogram fordi det antas at klimaet i Norge fører til en mer langsom mikrobiell nedbrytning av plantevernmidler enn i land med varmere klima (Svendgård-Stokke et al., 2021). Rester av plantevernmidler kan ha negativ innvirkning på biologiske mangfoldet i jordsmonnet og utenfor (Martin-Laurent et al., 2012), men andre aspekter av jord kan potensielt også bli påvirket.

Jorden har mange økosystemfunksjoner og en definisjon er beskrevet i Tabell 13. Mange av disse er tett knyttet til plantehelse og matproduksjon (Keesstra et al., 2016). Kun en sunn jord har evnen til å bidra til matsikkerhet, mattrygghet og et bærekraftig samfunn.

Tabell 13. Jordfunksjoner som definert av den Europeiske kommisjonen (EC, 2006).

Viktige jordfunksjoner
Biomasseproduksjon, inkludert landbruk og skogbruk
Lagring, filtrering og transport av næringsstoffer og vann
Bevaring og beskyttelse av biodiversitet (habitat og genbank)
Plattform for menneskelig aktiviteter og infrastruktur
Kilde til råvarer
Karbonlagring
Arkiv for geologisk og arkeologisk arv og kulturarv

FAO har utarbeidet en definisjon på jordhelse i 2008: «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, skadedyrangrep 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.» (oversettelse hentet fra Landbruksdirektoratet, 2020).

Jord er ikke en fornybar resurs og allerede nå viser estimater at 60-70% av jorda i EU har dårlig jordhelse. Det er mange trusler og stressfaktorer som fører til dårlig jordhelse, for eksempel erosjon, jordpakking, tap av organisk material, klimaendring, endringer i arealbruk, forsøling, og forurensing (Bunemann et al., 2018; Vermann et al., 2020; Stolte et al., 2016). Interaksjonen mellom disse faktorene er viktig, og en enkelt trussel alene fører ikke nødvendigvis til dårlig jordhelse. I tillegg er det vanskelig å måle hvordan disse truslene påvirker jord og jordhelse og hvordan de praktisk kan måles eller hvilke(n) parameter(e) det er som er viktig (Lehmann et al., 2020). Det er mange forskjellige påvirkningsfaktorer og god jordhelse kan se forskjellig ut for ulike jordtyper og klimasoner (Bonfante et al., 2020). I Norge er begrepet jordhelse relativt nytt og det er behov for å definere og kartlegge hvordan god jordhelse ser ut under norske forhold (Skaalsveen et al., 2022). NORSØK (Norsk senter for økologisk landbruk) utviklet i 2020 en jordlapp med 10 indikatorer for å vurdere jordkvalitet og jordhelse ute i felt av bønder og rådgiver (Pommeresche, 2020). Disse indikatorene inkluderer blant annet jordstruktur, plantevekst, meitemarkforekomst og røtter (Pommeresche, 2020). I en review-artikkel fra 2020 ble det laget en oversikt over jordhelseparametre (Pervaiz et al., 2020) som ble gruppert i to kategorier, biotiske og abiotiske parametre (Tabell 14).

Tabell 14. Oversikt over jordhelseparametre etter Pervaiz et al. (2020).

Biotiske paramenter	Abiotiske paramenter
Mikrobielle indikatorer (biomasse og tallrikhet; diversitet og sammensetning)	Jordaggregater og jordstruktur
Jordenzymaktivitet	Organisk material og organisk karbon i jord
Makro-organismer (tallrikhet; diversitet; sammensetning): nematoder, meitemark og midd	Mineralisering og resirkulering av karbon og nitrogen
Jordbåren sykdom	Jords fysisk-kjemiske egenskaper og næringsmangler
	Akkumulering av plante- og mikrobeavlede eksudater i jord

Det er imidlertid lite utforsket hvordan de ulike parametrene påvirker og interagerer med hverandre (Lehmann et al., 2020), og spesielt hvordan plantevernmiddelester i jord påvirker jordhelse, jordkvalitet og de ulike prosessene i jorda.

3.4.1 Forbedring av luft- og vannkvalitet

Jorda forsyner planter med vann, samtidig som den bidrar til å øke vannkvalitet med å filtrere ut partikler, næringsstoffer og forurensninger (Landbruksdirektoratet, 2020). Plantevernmidler kan påvirke vannkvalitet når de bli utvasket fra jorden og transportert med drens vann, noe som kan føre til at plantevernmidler havner i elver, innsjøer og i grunnvann. I Norge er det gjennomført en rekke frittstående undersøkelser av grunnvann (Kvaerner et al., 2014; Eklo et al., 2019) samt at det i en årrekke har vært gjennomført overvåking av grunnvannsbrønner i områder med intensiv jordbruksdrift (bl.a. Roseth et al., 2022) som viser funn av plantevernmidler i en rekke av de analyserte prøvene. I tillegg er potensialet for utlekking av plantevernmidler høyere i nordisk klima med fryse-tine prosesser i jorda om vinteren (Stenrod et al., 2008; Holten et al. 2018, 2019). I det nasjonale program for jord- og vannovervåking (JOVA) gjenfinnes det rester av plantevernmidler i mange prøver av bekkevann i jordbruksdominerte nedbørfelt og i enkelte tilfeller også i uønsket høye konsentrasjoner (Bechmann et al., 2021). Plantevernmidler som havner i bekkevann kan deretter transporteres videre i vannsystemet, men risikoen for dette avhenger av plantevernmidlets egenskaper som nedbrytbarhet i vann/lys, løselighet/binding til partikler mm. Det er også studier som indikerer opptak av plantevernmidler fra bekkevann og i kantvegetasjon i bekkeløpene (Herbertson et al., 2021). Noen av de påviste midlene er påvist mange år etter sprøyting, muligens på grunn av lang persistens (dvs. langsom nedbrytning) i jord og senere utvasking fra jorda i nedbør-/avrenningsepisoder. I en studie fra 2019 ble det vist at rester av plantevernmidler er hyppig forekommende i jordbruksjord i EU-land og det ble påvist rester av plantevernmidler i 83% av de undersøkte jordprøvene og 58 % av disse inneholdt en blanding av ulike plantevernmidler (Silva et al., 2019). Rester av plantevernmidler i jord kan også bidra til forekomst av plantevernmidler i luft. Plantevernmidler kan transporteres adsorbert til partikler eller kan ende opp i luften gjennom fordamping (Degrendele et al., 2016; Yao et al., 2008). Dette kan føre til at plantevernmidler transporteres til økosystemer som ikke ble ikke eksponerte for plantevernmidler gjennom landbruket (MacDonald et al., 2000) for eksempel til skog eller villmarksområde.

3.4.2 Plante- og dyrehelse

Rester av plantevernmidler i jord kan ha direkte påvirkning på plante- og dyrehelse. Under nordiske forhold kan det akkumuleres rester av plantevernmidler, som ble vist av Silva et al. (2019). I denne studien var det flere ulike midler som ble påvist i jorda og generelt en større andel av prøvene fra nordiske land som viste rester av plantevernmidler. Det finnes studier om opptak av plantevernmidler fra jord til planter (Li et al., 2019; Li et al., 2018). DDT er et eksempel på et veldig persistent stoff som ikke er tillatt brukt i Norge siden 1970-tallet (Mattilsynet & NIBIO, 2022), men som fortsatt kan påvises i jordprøver i Europa (Silva et al., 2019). I EFSA's rapporter om matovervåking i EU er DDT påvist også i konsentrasjoner over tillatte grenseverdier (EFSA, 2022) hvorav de fleste prøvene med rester av DDT var i animalske produkter. I 2021 var det funn av DDT i en norsk fettprøve fra storfe (Mattilsynet & NIBIO, 2022). Dette viser at forurensning av matvarer kan oppstå på grunn av rester av plantevernmidler i jord og det kan være en utfordring for god plante- og dyrehelse og opprettholdelse av matproduksjonen. Det må imidlertid poengteres av mattryggheten på det norske og europeiske markedet er god (Mattilsynet & NIBIO, 2022; EFSA, 2022).

En annen utfordring med rester av plantevernmidler i jord er at kronisk eksponering for et stoff kan føre til resistens mot dette stoffet (Imfeld & Vuilleumier, 2012). Prinsippene for integrert plantevern som er grunnlaget for dagens praktiske plantevern og plantehelsearbeid, peker på viktigheten av å benytte resistensstrategier og veksle mellom tiltak med ulike virkningsmåter. Ved godkjenning av plantevernmidler omfatter kriteriene et krav om rask nedbrytning i miljøet, slik at persistens ikke skal utgjøre et problem. Det vil likevel være viktig å kjenne til om rester av plantevernmidler i norsk jord og under kalde klimaforhold er en (større) utfordring enn antatt for å unngå residualeffekter og andre utilsiktede effekter som påvirker plantehelsearbeidet. Det er også rapportert at det kan være en

sammenheng mellom eksponering for plantevernmidler og resistens mot antibiotika, noen som kan ha store konsekvenser for dyrehelse og mennesker (Ramakrishnan et al., 2019).

Rester av plantevernmidler i jord kan også ha indirekte effekter på plantehelse, for eksempel ved å påvirke vekstforholdene for plantene. For plantene er det viktig å ha godt tilgjengelighet av næringsstoffer og en god jordstruktur for optimal vann- og lufttilgjengelighet (Passioura, 2002). Jordorganismer spiller en viktig rolle i disse aspektene ved å binde nitrogen fra luften, resirkulere næringsstoffer og nedbrytning av organisk materiale som frigjør næringsstoffer og andre mineraler (Wolejko et al., 2020). Nedbrytning av organisk material er også viktig for en god jordstruktur (Singh et al., 2011), med å bidra til økt aggregatstabilitet som er viktig for god transport av luft og vann gjennom jorden. God luft og vannforsyning er viktig for røtter og dermed for planteproduksjon.

3.4.3 Mangfold av jordorganismer

Mangfold av jordorganismer er viktig for ulike aspekter av jordhelse med å «kontrollere plantesykdommer, skadedyrangrep og ugras, danne gunstig samarbeid med planterøtter, resirkulere næringsstoffer, forbedre jordstrukturen med positive ringvirkninger for jordas evne til å holde på vann og næring; og der samlet effekt er bedre forhold for planteproduksjon» (Landbruksdirektoratet, 2020). Jordorganismer inkluderer bakterier, nematoder, sopp, encella dyr (protister), leddyr (insekter, edderkoppdyr og krepser), og leddormer (meitemark) (Landbruksdirektoratet, 2020). Plantevernmidler kan endre strukturen og sammensetningen av jordsamfunnet. Noen organismer er mer sensitive mot plantevernmidler og blir redusert i antall ved påvirkning fra plantevernmidler, mens andre kan bruke dem som energikilde og bryte dem ned (Hussain et al., 2009). Effekten av plantevernmidler på jordorganismer avhenger imidlertid av plantevernmiddeltypen, da plantevernmidler er en veldig variert gruppe av kjemikalier både med tanke på fysiske/kjemiske egenskaper og med tanke på virkningsmekanisme overfor levende organismer. Det er imidlertid resultater som indikerer at soppmidler generelt har en større effekt på jordorganismer enn ugras- og skadedyrmidler (Bunemann et al., 2006).

Aktiviteten til jordenszymer er en viktig indikator for jordas produksjonsevne, biologisk likevekt og endringer i biologisk status på grunn av forurensninger i jord er jord enzymer (Riah et al., 2014). I en review artikkel er det vist at plantevernmidler kan ha negative effekter på nitrogenfiksering og enzymforekomst i jorden (Hussain et al., 2009), noe som er viktig for resirkulering av næringsstoffer.

Hvordan enkelte plantevernmidler påvirker ulike jordorganismer er en del av godkjenningsprosessen i EU, men det er nesten ingen studier som utforsker effekten av rester av flere ulike plantevernmidler i jorda (Geissen et al., 2021; Wolejko et al., 2020). En nylig studie fant at en blanding av ulike plantevernmidler kan ha negative effekter på virvelløse jordorganismer (Panico et al., 2022). Omfattende og gjentatt bruk av plantevernmidler kan føre til akkumulering og persistens i jorda (Verma et al., 2014). En studie fra 2019 viste at rester av flere midler i jordprøver er en reell utfordring (Silva et al., 2019). I tillegg ble det påvist at plantevernmidler (kan) transporteres til dypere jordsjikt etter frysing og tining i Norge (Stenrød et al., 2008; Holten et al. 2018, 2019), hvor den biologiske aktiviteten er lavere, nedbrytningen av plantevernmidler langsommere og dermed faren for persistens/akkumulering eller utvasking til vann større.

For å oppsummere, plantevernmidler kan påvirke mange aspekter av jordhelse som er viktig for plantehelse og planteproduksjon og kan føre til eksponering av ikke-målorganismer for plantevernmidler og dermed utilsiktede effekter i miljøet. Men det er et betydelig kunnskapshull når det gjelder effekter av plantevernmidler på jordhelse og hvordan de ulike aspekter av jordhelse interagerer med hverandre i kombinasjon med plantevernmidler. Så langt vi har kunnet avdekke er det ingen konkrete studier som ser på påvirkning av plantevernmidler på jordhelse. Ofte er det bare generelt fokus på kjemisk forurensning, men ikke spesifikke vurderinger knyttet til plantevernmidler selv om dette er en gruppe kjemikalier som jevnlig tilføres miljøet. Flere stoffer som er eller har vært godkjent som plantevernmidler er også godkjent for bruk som biocid, veterinærlegemidler e.l. og kan

derfor tilføres jorda også via annen bruk enn som plantevernmidler. Dette kan være en økende utfordring i dagens sirkulære bioøkonomi med fokus på resirkulering av biologiske ressurser/ restmaterialer. Det er behov for mer kunnskap om hvordan rester av plantevernmidler i jord påvirker jordorganismer og jordhelse spesielt under nordiske forhold. I tillegg må det utforskes mer hvilke kombinerte effekter rester av flere ulike plantevernmidler i jord kan ha på jordhelse.

3.5 Plantevernmidler i nordisk jord og klima og i EU

3.5.1 Funn av plantevernmidler i jordovervåkingen LUCAS Soil Pesticide i 2015

En oversikt over overvåkingsstudier for plantevernmidler i jord ble publisert i 2022 (Sabzevari & Hofman, 2022), men oversikten viser ingen referanse til data fra overvåkingsstudier i jord i Norden. Oversikten viser at i Europa har flest overvåkingsstudier vært gjennomført i Spania, Portugal, Hellas og Ungarn. Overvåking av plantevernmidler i toppjord i regi av EUs jordovervåkingsprogram «LUCAS Soil Pesticides» startet i 2018, på bakgrunn av en innledende screening i 2015, og det ble også gjennomført jordprøvetaking for plantevernmidler i 2022. Etter en screening av 317 jordprøver fra 11 LUCAS EU-land i 2015 konkluderte Silva *et al.* (2019) med at tilstedeværelse av ulike plantevernmiddelrester i matjord i EU-landene snarere er regelen enn unntaket. Screeningen viste at over 80 % av jordprøvene inneholdt plantevernmiddelrester og 58 % inneholdt rester av to eller flere midler. Jordprøvene var toppjord (0-15/20 cm) samlet inn i perioden april-oktober 2015. De stoffene som ble hyppigst påvist og i høyest konsentrasjoner var glyfosat med metabolitten AMPA, DDT og metabolitter, og de bredspektrede soppdrepende midlene boscalid, epoxiconazole og tebuconazole.

Funn av plantevernmiddelrester var generelt hyppigere i jord fra de nordligste landene (Danmark og UK), enn i jord fra de sydlige landene (Italia, Hellas og Spania), men de høyeste maksimalkonsentrasjonene ble påvist i jord fra Sør-Europa. Sverige og Finland var ikke inkludert i screeningen i 2015.

I de 30 jordprøvene fra Danmark ble hyppigst påvist AMPA, DDE pp, boscalid, phtalimide og glyphosate (Silva, 2022). En medvirkende årsak til hyppig gjenfinning av AMPA og glyfosat kan være at 21 av de totalt 30 jordprøvene fra Danmark var hentet fra korndyrkingsfelt, hvor glyfosat er hyppig brukt. Boscalid, som i Danmark er tillatt brukt også i korn, ble påvist i 10 av de 30 jordprøvene.

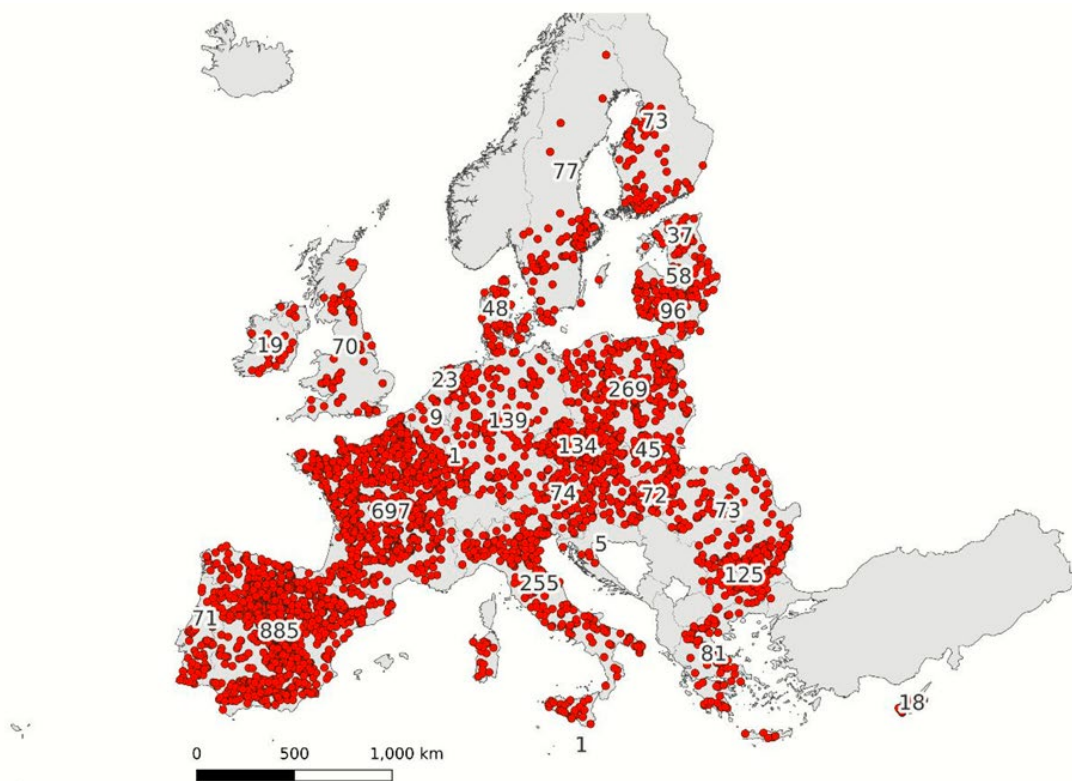
Generelt i de 11 EU-landene så var funnkonsentrasjonene høyest i jord med dyrking av potet/sukkerbete og frukttrær/vindruer. Målt konsentrasjon var noen ganger over stoffenes predikerte maksimale miljøkonsentrasjon i jord, men var under de respektive toksiske endepunktene for referanseorganismer i jord. Mediankonsentrasjonen av de enkelte plantevernmidler lå stort sett mellom 10 til 50 µg/kg, men sumkonsentrasjonen av ulike plantevernmiddelrester i jorda var inntil 2870 µg/kg.

Screeninganalysen i 2015 var imidlertid begrenset til å måle bare 76 plantevernmidler (34 skadedyrmidler, 27 soppmidler og 15 ugrasmidler) i jordprøvene. Antall funn og konsentrasjoner ville trolig vært høyere dersom screeningmetoden hadde omfattet flere midler. Over 450 plantevernmidler (aktive stoff, safeners og synergists) er godkjent for bruk i EU i dag, i tillegg er 944 midler ikke (lenger) godkjent for bruk, iht. EU Pesticides Database (EC, 2023b).

3.5.2 Funn av plantevernmidler i jordovervåkingen LUCAS Soil Pesticide i 2018

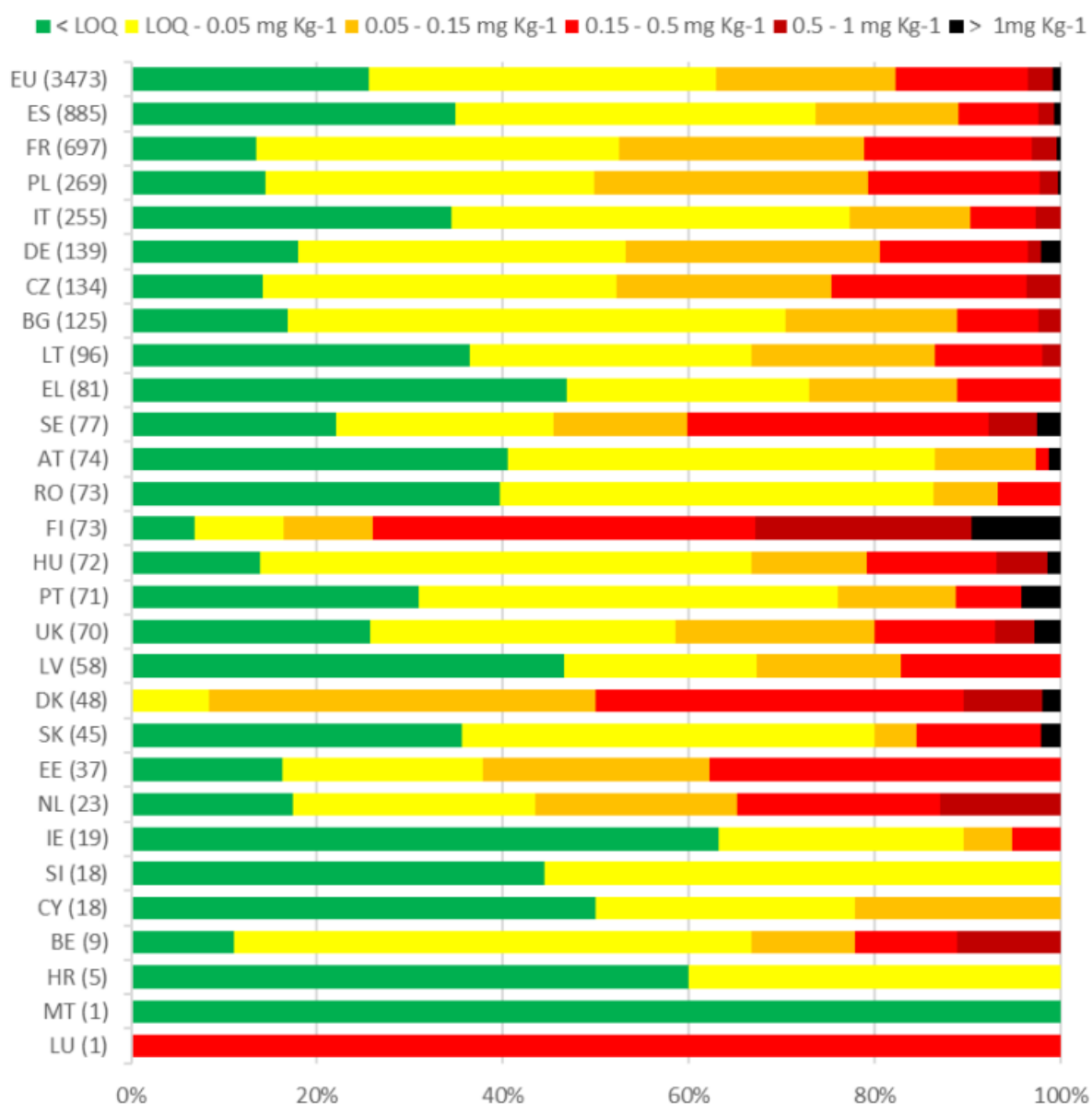
Nylig (i juli 2023) publiserte Joint Research Centre (JRC) en rapport over funn av plantevernmiddelrester i jord fra prøvetakingen gjennomført i 2018. Antallet prøvetakingslokaliteter og jordprøver var økt fra 317 prøver/lokaliteter i 2015 til 3473 prøver/lokaliteter i 2018 (Figur 15). Jordprøvene ble tatt fra 0-20 cm dyp i perioden mars-november 2018. Det ble tatt ut 1462 jordprøver fra kornåker, 993 jordprøver fra gras/beite, 324 jordprøver fra oljevekster (raps/rybs), 201 jordprøver

fra frukt/nøtter, 156 jordprøver fra grønnsaker og melon, 94 jordprøver fra belgfruktarealer, 41 jordprøver fra sukkerbete og 30 jordprøver fra potetåker. De kjemiske analysene omfattet 109 plantevernmidler og 9 nedbrytingsprodukter av plantevernmidler.



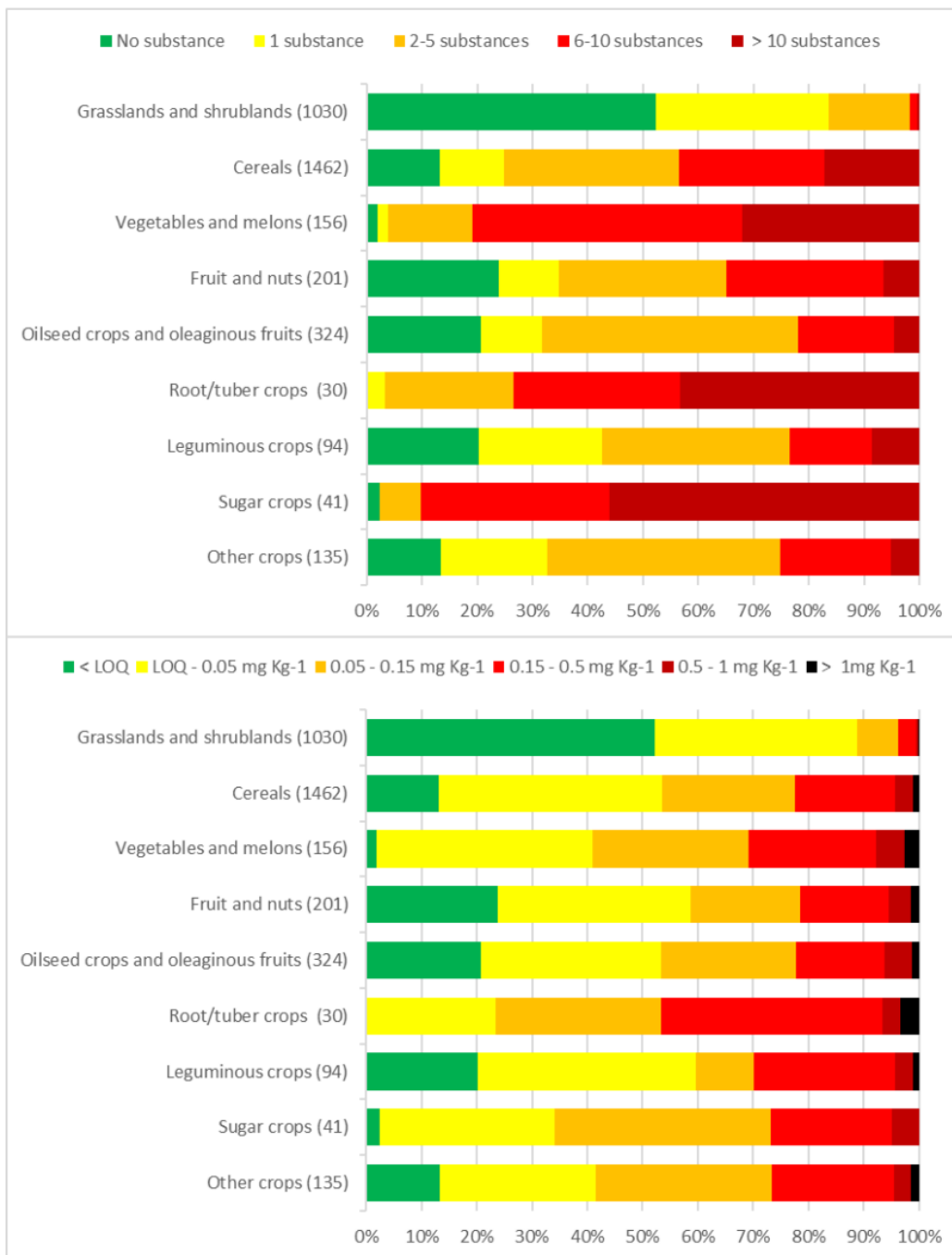
Figur 15. Totalt 3473 jordprøvetakingslokaliteter for LUCAS Soil Pesticides i 2018. Det ble hentet jord fra 77 lokaliteter i Sverige, 73 lokaliteter i Finland og 48 lokaliteter i Danmark. Det var en overvekt av prøver fra korndyrkingsfelt. Kilde: Joint Research Centre (Vieira et al. 2023).

Screeningen viste at over 74 % av jordprøvene inneholdt plantevernmiddelrester og 57 % inneholdt to eller flere midler. Dette er i samsvar med undersøkelsen i 2015. Men det ble påvist flere funn av 41% av plantevernmidlene i 2018 enn i 2015. Jordprøvene fra Danmark, Sverige og Finland hadde størst andel prøver med høyest maksimalkonsentrasjoner av plantevernmidler (Figur 16). Detaljer om funnene, fordelt på land, er ikke oppgitt i rapporten. Lokalitetene med de hyppigste funnene av plantevernmidler (> 10 stoff per prøve) ble gjort i jord fra kald-temperert klima (type Cfb) og varmttemperert klima (type Dfb). Disse klimasonene dekker EUs nordre og midtre soner ved godkjenning av plantevernmidler. Rapporten nevner at dette kan indikere en lengre eksponeringstid for plantevernmidler i jorda i disse sonene, og at klimaforholdene her kan være mindre egnet for nedbryting av plantevernmidlene – sammenlignet med den sørlige sonen.



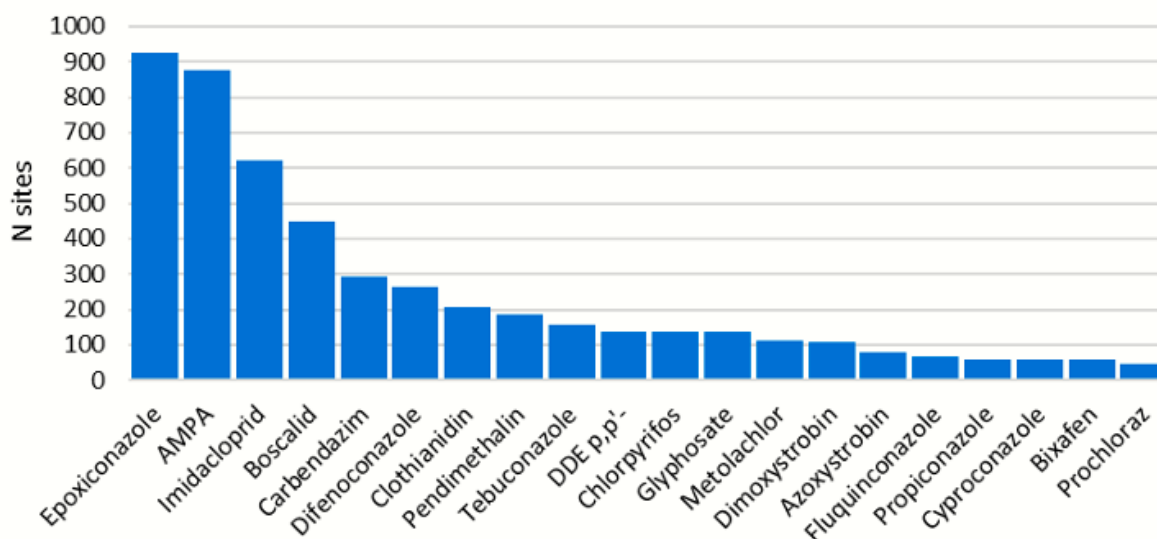
Figur 16. Prosentandel prøver fordelt på ulike plantevernmiddeleveler (mg plantevernmiddel per kg jord) i LUCAS Soil Pesticides i 2018. Tall i parentes angir totalt antall prøver fra hvert land. Finland (FI), Danmark (DK) og Sverige (SE) har størst andel prøver med høye funnkonsentrasjoner (rød+svart farge; >0.15 mg/kg). Eksempelvis inneholdt >75 % av jordprøvene fra Finland >0.15 mg/kg. Kilde: Joint Research Centre (Vieira et al. 2023).

Det ble gjort flest funn og funn av høyest konsentrasjoner av plantevernmidler i jordprøvene fra dyrkingskategoriene grønnsaker og melon, potet («root/tuber crops») og sukkerbete («sugar crops») (Figur 17). Antall prøver tatt ut i disse kategoriene var relativt lavt (156 jordprøver fra grønnsaker og melon, 41 jordprøver fra sukkerbete og 30 jordprøver fra potet). Rapporten gjengir ikke hvilke enkeltstoffer av plantevernmidler som ble påvist i jorda fra disse kulturene.



Figur 17. Øverst: Funnfrekvens (%) for antall plantevernmidler påvist i jordprøver fra ulike kulturer. Nederst: Summerte funnkonsentrasjoner av plantevernmidler i ulike kulturer, fordelt på 6 konsentrasjonsområder. Antall jordprøver i parentes. Kilde: Joint Research Centre (Vieira et al. 2023).

Det var normalt hyppigst funn av soppmidler i jordprøvene, men ugrasmidlene ble påvist i høyest konsentrasjoner. Blant topp 10 av plantevernmidler som ble påvist hyppigst er soppmidlene epoxiconazole, boscalid, carbendazim, difenoconazole, tebuconazole; skadedyrmidlene imidacloprid, clothianidin og DDE p,p (metabolitt av DDT); og ugrasmidlene AMPA (metabolitt av glyfosat) og pendimethalin (Figur 18). Som eksempel viser Figur 18 at soppmiddelet epoxiconazole ble påvist i jord fra over 900 lokaliteter.



Figur 183. De plantevernmidlene som ble oftest påvist i jordprøvene i EU og bidro til mer enn 5% av beregnet summert risikoindikator ($\Sigma(C_{soil}/NOEC_{min})$). Kilde: Joint Research Centre (Vieira et al. 2023).

De største driverne for toksisitet mot jordlevende organismer ble beregnet til å være skadedyrmidlene imidacloprid og chlorpyrifos, etterfulgt av soppmidlene epoxiconazole, boscalid, difenoconazole og dimoxystrobin. Ugrasmidler, inkludert glyfosat og AMPA som ble hyppig påvist og i høye konsentrasjoner, ble ikke funnet å utgjøre noen signifikant risiko for jordlevende organismer (Vieira et al. 2023).

Det ble gjennomført en ny prøvetaking for analyser av plantevernmidler i toppjord fra EU i regi av LUCAS Soil Pesticides i 2022. Disse prøvene screenes for 118 plantevernmidler og metabolitter, slik som i 2018. Dataene og tolkingen fra dette arbeidet er ennå ikke tilgjengelig hos European Soil Data Centre (<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas>).

3.5.3 Funn av plantevernmidler i jord i Finland

Med unntak av de nyeste dataene fra LUCAS 2018, er det lite publisert informasjon om plantevernmidlerrester i jord i Finland (pers med. Marleena Hagner ved LUKE). Overvåkingen i Finland har fokusert på undersøkelser av plantevernmidler i overflate- og grunnvann.

Et nytt jordovervåkingsprosjekt er igangsatt i Finland; PesResValse 2021-2023 (<https://www.luke.fi/en/projects/pesresvalse>), med spesifikt mål om å sammenligne jordforurensningsnivåer mellom ulike produksjonssystemer (organisk vs. konvensjonell, planteproduksjon vs. husdyrhold, avlingstype) og jordtyper. Totalt 150 jordprøver fra jordbruksjord er analysert og resultatene blir publisert i løpet av 2023. LUKE planlegger å opprette et nasjonalt overvåkingsprogram for plantevernmidler i jordbruksjord (pers med. Marleena Hagner ved LUKE).

3.5.4 Funn av plantevernmidler i jord i Sverige

I overvåkingsprogrammet for jordbruksjord i Sverige (<https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/akermarksinventeringen/>) blir jordsmonnet analysert for lett-tilgjengelige næringsstoffer, kornstørrelse, innhold av organisk karbon, total-karbon, pH, sporstoffer og tungmetaller. I LUCAS 2018 ble 77 jordprøver fra Sverige analysert for innhold av plantevernmidler som gjengitt i kapittel 3.5.2. Detaljer om plantevernmidelfunn per land er derimot ikke gjengitt i rapporten av Vieira et al. (2023). Det er ellers lite publisert informasjon om plantevernmidlerrester i jord i Sverige (pers med. Karl Lilja, Naturvårdsverket og Johanna Wetterlind, SLU).

Den nasjonale miljøovervåkingen av plantevernmidler i Sverige har fokus på vannkilder (overflatevann, regnvann, grunnvann, sediment) fra fire nedbørsfelt og to elver i Sør-Sverige, men

funn i vannprøvene kan ha tilknytning til rester i jord. De utvalgte nedbørsområdene er sterkt dominert av dyrking av korn, oljevekster, gras og fôrvekster (65-90%), så en kan forvente mest funn av særskilt ugrasmidler, men også andre typer midler godkjent i disse kulturene. I perioden 2016-2019 var det i overflatevannprøvene fra sommersesongene totalt hyppigst funn av ugrasmidler; bentazone, glyphosate, metazachlor, quinmerac, nedbrytingsproduktene BAM og AMPA, samt skadedyrmedlet imidacloprid. De soppmidlene som ble påvist hyppigst var azoxystrobin, metalaxyl, fluopyram, fluopicolide og boscalid (Nanos et al. 2020).

Funn i vannprøver fra sommersesongen kan skyldes avdrift ved sprøyting og overflateavrenning kort tid etter sprøyting, og sier ikke nødvendigvis noe om restnivåer i jorda. Funn i vannprøver fra vintersesongen kan derimot være en bedre indikator på utlekking fra jord og partikkelbundet transport. Gjennom vinteren 2019-2020 var det i de fire nedbørsområdene hyppigst funn av glyphosate, quinmerac, bentazone, fluopyram, metalaxyl, metazachlor og nedbrytingsproduktet BAM. Diflufenican og imidacloprid ble påvist hyppig i enkelte nedbørsfelt om vinteren. Funnkonsentrasjonene var generelt høyere om sommeren enn om vinteren.

3.5.5 Plantevernmidlene med størst miljøbelastning i jordbruket – et eksempel fra Danmark

Miljøstyrelsen i Danmark beregner den samlede miljøbelastning av de mest brukte midlene i Danmark; en beregning som også inkluderer helsebelastningen. Beregningen er basert på årlig mengde omsatt aktivt stoff samt helse- og miljøbelastningen basert på plantevernmiddelkategori.

Stoffene med stipulert størst samlet miljøbelastning brukt i Danmark i 2020 er vist i Tabell 15 (hentet fra Miljøstyrelsens rapport (2022)). Disse 10 stoffene utgjorde til sammen 69,7 % av den samlede miljøbelastning i 2020. Stoffene i listen har stort sett vært de samme i hele perioden 2015-2020 (<https://mst.dk/kemi/pesticider/anvendelse-af-pesticider/forbrug-af-pesticider-statistik-og-indikatorer/landbrug-mv/>). Stoffene omfatter fire ugrasmidler (glyphosate, prosulfocarb, diflufenican og aclonifen), fire soppmidler (pyraclostrobin, epoxiconazole, boscalid og fluopyram) og to skadedyrmedler (lambda-cyhalothrin og tau-fluvalinate). Fluopyram kom inn på lista i 2017, mens MCPA har vært inne på lista enkelte år. Med unntak av soppmiddelet epoxiconazole er alle stoffene godkjent til bruk i Norge. Topp 10-listen *kan* være relativt overførbart for tilsvarende miljøbelastning i norsk jordbruk - men det må tas høyde for forskjeller i godkjent anvendelsesområde for plantevernmidler, og variasjon i bruken av plantevernmidler mellom år blant annet på grunn av værforhold og diversitet i areal av ulike vekster i Norge sammenlignet med Danmark. Eksempelvis er soppmiddelet boscalid tillatt også i korn i Danmark, mens det bare er tillatt i raps og grønnsaker i Norge. Plantevernmiddelbruken i jordbruket i Norge, Sverige, Finland og Danmark er – i mengde omsatt aktivt stoff – temmelig lik, og dominert av ugrasmidler (ca. 80 %), etterfulgt av soppmidler (ca. 14 %) og skadedyrmedler (ca. 2 %) (Mattilsynet, 2023; Miljøstyrelsen, 2022; SCB, 2022; Tukes, 2022).

Tabell 15. De aktive stoffene med størst beregnet samlet miljøbelastning brukt i jordbruket (friland) i Danmark i 2020. Samlet miljøbelastning er basert på årlig mengde omsatt aktivt stoff samt helse- og miljøegenskaper ved plantevernmidlene. Tabellen er hentet fra Miljøstyrelsens rapport (2022).

Aktivt stoff*	Samlet miljøbelastning i 1000 belastningsenheter	% belastning av den totale miljøbelastning	Mengde a.s. (kg)
Lambda-cyhalothrin (I)	305	13,4 %	2.771
Glyphosate (U)	300	13,1 %	1.451.122
Prosulfocarb (U)	259	11,3 %	408.240
Diflufenican (U)	126	5,5 %	48.242
Pyraclostrobin (S)	123	5,4 %	48.099
Aclonifen (U)	118	5,2 %	45.258
Epoxiconazole (S)	96	4,2 %	13.695
Tau-fluvalinate (I)	92	4,0 %	7.906
Boscalid (S)	89	3,9 %	41.939
Fluopyram (S)	88	3,8 %	46.542
I alt	1.595	69,7 %	2.113.814

* U= ugrasmiddel, I= skadedyrmiddel, S= soppmiddel.

Det norske Mattilsynet publiserer ikke noen tilsvarende beregning av miljøbelastning av aktive stoff brukt i norsk jordbruk, knytta opp mot de årlige dosene som er benytta. Norge har en egen miljøavgift for plantevernmidler der avgiften er differensiert etter preparatenes helse- og miljørisiko, og dette brukes også til å se på utvikling av risiko over tid ved hjelp av omsetningstallene for midler i de ulike gebyrklassene (LMD, 2021). Denne statistikken er imidlertid kun laget/offentliggjort på klassenivå, og ikke på aktivt stoff-nivå og kan derfor ikke brukes til å si noe om miljøbelastningen av hvert enkelt aktivt stoff.

3.5.6 Plantevernmidlers skjebne i jord

Denne rapporten har ikke som mål å forelegge noe uttømmende om skjebne av plantevernmidler i jord, men noen momenter kan nevnes. Plantevernmiddelrester i jord er utsatt for ulike prosesser, inkludert mikrobiell nedbryting, binding til jordpartikler og utlekking nedover i profilet eller avrenning i løst eller partikkelbundet form. De ulike plantevernmidlenes evne til akkumulering i toppjorda vil – blant annet – være avhengig av jordas egenskaper og jordtype. Utlekking og tap av midlene fra toppjorda kan være raskere i leirjord enn i sandjord, viser både danske og norske undersøkelser. I det danske overvåkingsprogrammet for utlekking av plantevernmidler (PLAP) – som fokuserer særskilt på plantevernmidler i korn og potet – er det over flere år observert forskjeller i transport av plantevernmidler i leirjord og i sandjord (Badawi et al. 2022). Plantevernmidlene viser sterk retensjon i plogsjiktet i sandjord (f.eks. «Jyndevad»), men viser en dypere og hyppigere utlekking ned til 1 meters dyp og til grunnvann i leirjord (f.eks. «Silstrup») (Rosenbom et al., 2015). Den sterkere retensjonen av plantevernmidlene i plogsjiktet i sandjord fører til at det først og fremst er de mer vannløselige nedbrytingsproduktene av midlene som vaskes ned og påvises i grunnvann under sandjord i det danske overvåkingsprogrammet, mens det i grunnvann under leirjord med makroporestrømning påvises både morstoffer og nedbrytingsprodukter. Noen plantevernmidler brukt i potet viser langtidsutvasking av nedbrytningsprodukter på sandjord (Badawi et al., 2022). Tilsvarende forskjeller med raskere utlekking av plantevernmidler i leirjord enn i sandjord er også observert i feltforsøk i Norge (Almvik et al. 2021).

Men dette betyr ikke at toppjordkonsentrasjonen av plantevernmidler nødvendigvis vil være større i sandjord enn i leirjord. Mikroorganismenes nedbrytingshastighet i toppjorda er også en viktig faktor. Den mikrobielle nedbrytingen av plantevernmidler kan være langsommere i norsk jord og kaldtemperert klima enn i jord i varmt temperert klima lenger sør i Europa. Selv innad i Norge kan det være store forskjeller - det er målt 5 ganger langsommere nedbryting av soppmiddelet boskalid i

feltforsøk i siltig sand i Stjørdal i Midt-Norge enn i siltig sand på Klepp på Sørvestlandet (Almvik et al. 2014).

Norge er en del av den nordlige sonen for godkjenning av plantevernmidler, sammen med Sverige, Finland, Danmark, Island og Baltikum. Dette skal legge til rette for at det tas tilstrekkelig hensyn til særlige forhold i sonen, slik som klima og jordsmonn, ved vurdering av godkjenning av nye plantevernmidler (preparater). Jordsmonnet i Norge er ungt og jordsmonnutviklingen går langsommere her enn på sørligere breddegrader. Leirjorda som ble avsatt som havbunn ved slutten av siste istid er i dag grunnlaget for mye av jordbruket og planteproduksjonen på Sør-Østlandet og langs Trondheimsfjorden (Jørgensen et al. 2013). Dette er faktorer som vil påvirke den mikrobielle aktiviteten i jorda og persistensen til plantevernmidlene i norsk jord.

3.5.7 Funn av plantevernmidler i jord i Norden; kunnskapshull

Basert på denne gjennomgangen av forekomst av datagrunnlag og kunnskap om plantevernmidler i nordisk jord og klima og i EU, kan vi oppsummere følgende mangler og kunnskapshull:

- Overvåking av plantevernmiddelrester i miljøet i Norden har i all hovedsak vært rettet mot vannkilder og matvarer.
- Det er først og fremst gjennom LUCAS Soil Pesticides screeningen i 2015 og 2018 at vi har data på rester av plantevernmidler i jord fra Sverige, Finland og Danmark. Norge deltar ikke her. Norge er i gang med å utvikle et eget jordovervåkingsprogram (JordVaak) hvor plantevernmidler og forurensinger er én modul, som kan gi oss ytterligere informasjon om plantevernmiddelrester i norsk jord.
- Noen begrensninger ved jordprøvene fra LUCAS er at det kun er én stikkprøve per lokalitet, tatt ut en gang mellom mars og november. Funn av plantevernmiddelrester er ikke sammenholdt mot sprøytejournal på lokaliteten, så det vites ikke hvorvidt prøven er tatt ut kort tid etter sprøyting eller måneder senere. Jordprøvene blir dessuten lufttørket etter prøvetaking, noe som kan bidra til nedbryting av lett nedbrytbare plantevernmidler. Tørring kan også øke sorpsjonen av plantevernmidlene til jordpartiklene og redusere ekstraksjonseffektiviteten. En annen begrensning er LUCAS-analysemetodens smale søkespekter på 109 plantevernmidler og 9 nedbrytingsprodukter, som ikke fanger opp alle de inntil 450 plantevernmidlene som er godkjent for bruk i EU. Til sammenligning blir det i overvåkingen av plantebaserte matvarer i EU-koordinert program analysert for ca. 190 plantevernmidler (Commission Implementing Regulation (EU) 2022/741). Søkespekteret bør inneholde så mange stoffer som mulig for en multimetode med bruk av væskechromatografi med massespektrometer (LC-MS-MS eller LC-HRMS). Plantevernmidler som kun kan påvises med GC-MS er ikke inkludert i LUCAS.
- Prøvetakingen i LUCAS er svært dominert av jord fra korn, oljevekster og grasmark. Disse prøvene utgjorde 80% av prøveomfanget i 2018. Disse kulturene sprøytes i stor grad med ugrasmidler som brytes raskt ned og/eller med midler som det kreves spesialmetoder for å analysere og blir ikke fanget opp av analysemetoden som er brukt. Funn fra LUCAS 2018 vil i hovedsak reflektere de plantevernmidlene som er tillatt brukt i korn og oljevekster. Det bør legges mer vekt på å samle inn prøver også fra andre kulturer.
- I LUCAS 2018 ble det gjort flest funn og i høyest konsentrasjoner i jordprøver fra dyrkingskategoriene grønnsaker og melon, potet og sukkerbete. Disse prøvene utgjorde bare 6,5 % av prøveomfanget. Det er behov for mer data fra slike kulturer.
- De stoffene som ble påvist i flest prøver med høyest risiko for utvalgte jordlevende organismer var skadedyrmidler (imidacloprid og chlorpyrifos) og soppmidler (epoxiconazole, boscalid,

difenoconazole og dimoxystrobin). Prøvetaking av jord fra kulturer med et generelt høyt behov for sprøyting med skadedyr- og soppmidler bør (opp)prioriteres.

- En beregning av miljøbelastning av plantevernmidlene som er i bruk i Norge, tilsvarende det Miljøstyrelsen i Danmark utarbeider vil kunne være et nyttig verktøy. Dette kan brukes til å vite mer om hvilke plantevernmidler man bør rette tiltak mot, særskilt sammenholdt mot overvåkingsdata over plantevernmiddelrester i jord.
- Det trengs bedre risikoindikatorer for blandingstoksisitet av plantevernmidler på jordlevende organismer. LUCAS Soil har utarbeidet en prototype for en slik risikoindikatormodell. Indikatoren bruker NOEC data for de individuelle plantevernmidlene og for ulike jordorganismer blant annet fra godkjenningsdata (Vieira et al., 2023). Konsentrasjon av et plantevernmiddel som ble målt i en jordprøve ble delt på laveste NOEC eller median av NOEC for dette plantevernmiddel. Samme beregning gjøres for alle plantevernmidler påvist i samme jordprøven og summen av beregningene for de ulike påviste plantevernmidler brukes til risikovurdering av blandingseffekter. Er summen >1 indikerer det en mulig risiko mens en sumrisiko <1 antas å ikke ha noen negative effekter på jordorganismer. I vurderinger om blandingstoksisitet i vann brukes gjerne en liknende type indikator (Bundschuh et al., 2014). Dette er en konservativ tilnærming som tar hensyn til den mest sårbare organismen for hver enkelt av plantevernmidlene i blandingen. En slik tilnærming vurderer ikke hvordan en gitt plantevernmiddelblanding vil påvirke en gitt organisme/organismegruppe som vil ha ulik sensitivitet overfor de ulike stoffene i blandingen.

4 Diskusjon

4.1 Plantevernmidler i norsk og europeisk jordbruksjord

Norsk plantevernmiddelregelverk er harmonisert med gjeldende regelverk i EU. Vurdering og godkjenning av virksomme stoffer av plantevernmidler skjer på europeisk nivå, mens handelspreparatene som benyttes i de ulike land må omsøkes og godkjennes nasjonalt. Det er etablert et samarbeid for risikovurdering av handelspreparater innen en sørlig, sentral og nordlig sone i EU/EØS. Norge er del av nordlig sone sammen med Danmark, Finland, Sverige, Latvia, Estland, Litauen og Island. Risikovurderingen skal gjøres for å sikre at plantevernmidlet ikke har uakseptable effekter på mennesker og miljø og at det er ikke persistent i miljøet (EC Regulation No 1107/2009). Det er påpekt at det usikkerhet rundt om skjebne og effekter av plantevernmidler under norske klima- og jordforhold er godt nok representert og ivaretatt gjennom studiene som brukes til godkjenning og i scenarier som modellerer nedbrytning av plantevernmidler (VKM, 2015). For eksempel er nedbrytningsstudier for boscalid gjennomført i Tyskland og Spania lagt til grunn for godkjenningen av dette midlet (EC, 2008). Boscalid var et av stoffene med flest antall påvisninger (52) og høyest påvist maksimumkonsentrasjon (870 µg/kg) i vår kartlegging. Våre funn indikerer at det kan være utfordringer spesielt med soppmidler, rester av mange ulike plantevernmidler i en prøve og til dels høye konsentrasjoner av enkelte midler. Dette var spesielt for kulturer med mange (soppmiddel)sprøytinger, for eksempel poteter, frukt og bær.

Soppmidler var den hyppigst påviste gruppen plantevernmidler i jord i denne kartleggingen og 49% av alle funn var soppmidler. Soppmidler var også i flertall blant plantevernmidlene med de høyest påviste konsentrasjonene. Det er imidlertid ugrasmidler som normalt sprøytes på størst andel av dyrka areal. Dette ser vi både av data for de undersøkte feltene, bruksstatistikken for plantevernmidler (Aarstad & Bjørlo, 2019) og omsetningsstatistikken (Mattilsynet, 2023) som viser at ugrasmidler utgjør 75% av det totale salget (mengde) i gjennomsnitt for perioden 2018-2022. Soppmidler utgjør om lag 13% av omsatte plantevernmidler i Norge i perioden 2018-2022. Det er også en rekke kulturer med høy arealandel sprøytet med soppmidler (Aarstad & Bjørlo, 2019), men her er behovet mer væravhengig og det er til dels stor variasjon mellom år. At det finnes mange rester av soppmidler i jord kan tyde på langsom nedbrytning under norske forhold og potensiell akkumulering i jord, noe som også er rapportert tidligere (VKM, 2015).

Ingen av de påviste konsentrasjonene var imidlertid over den konsentrasjonen som antas å ha en kronisk effekt på meitemark. I en studie av målte konsentrasjoner i jord og i meitemark i jordbruksområde i Frankrike ble det funnet at 22% av undersøkt jord inneholdt plantevernmidler i konsentrasjoner over den predikerte miljøkonsentrasjonen i jord (PEC_s) som var lagt til grunn i godkjenningen i EU (Pelosi et al., 2021). Bland plantevernmidlene med høye målte miljøkonsentrasjoner (over PEC_s) var boscalid, cyproconazole, epoxiconazole, prochloraz, diflufenican, pyroxsulam og imidacloprid. I tillegg ble det i denne studien beregnet forholdet mellom toksisk konsentrasjon og målt miljøkonsentrasjon (TER: toxicity-exposure-ratio) for meitemark. De fant ingen akutt risiko for de enkelte plantevernmidler, men høy risiko når det gjelder blandingstoksisitet. I 46 % av jordprøvene var beregnet blandingstoksisitet høy for meitemark (Pelosi et al., 2021). Det kan være interessant å gjøre lignende beregninger for resultater fra Norge. Våre resultater omfatter en god del flere plantevernmidler (31 plantevernmidler i Pelosi et al. 2021 og 450 i metoden på NIBIO) og flere ulike produksjonssystemer enn undersøkt i Pelosi et al., 2021).

Våre data fra norske jordprøver kan sammenlignes mot funnene i EUs LUCAS Soil 2018, men det må tas noen forbehold;

- søkespektrene som er brukt er ikke identiske. Vi har søkt etter 450 (850) plantevernmidler og nedbrytingsprodukter, mens LUCAS har analysert for 118 plantevernmidler og nedbrytingsprodukter.
- Vi har søkt etter - og påvist - flere nedbrytingsprodukter av plantevernmidler enn det LUCAS har gjort
- LUCAS har analysert for glyfosat og AMPA, med spesialmetode. Vi har ikke analysert for glyfosat og AMPA.

I vår screening av jordprøver fra norsk jordbruksjord fant vi flest plantevernmidler i jord fra potet- og grønnsakareal. Dette er i samsvar med funn i screeningen av jordbruksjord i EU (LUCAS Soil Pesticides) i 2018, hvor det også er gjort flest funn i grønnsaker og potet (samt i sukkerbete, som var en egen kategori). Dette kan reflektere et større behov - både i Norge og i EU - for bekjemping av ulike typer skadegjørere i disse kulturrene gjennom sesongen, med mange ulike typer plantevernmidler. Det kan også indikere at plantevernmidlene som brukes i disse kulturrene er mer persistente i jord. Det er gjort mange funn av soppmidler, og soppmidler generelt brytes langsommere ned i jord enn ugrasmidler og skadedyrmidler. De bindes generelt også sterkere til jordpartikler. Det var en større andel prøver med høye funnkonsentrasjoner (sumkonsentrasjoner > 500 µg/kg) i jord fra norsk potetproduksjon sammenlignet med jord fra potetproduksjon i EU (22 vs. 7% av prøvene). Men i EU var de maksimalt påviste konsentrasjonene en del høyere med flere funn > 1000 µg/kg, noe som ikke ble observert i norske jordprøver. Prøveantallet var imidlertid lavt (27-30 prøver) og lengde på tidsrom mellom siste sprøyting og prøvetakingstidspunktet vil påvirke resultatene mye.

I jord fra norsk grønnsakproduksjon var det en stor andel prøver (75%) med ingen funn eller lave sumkonsentrasjoner (< 50 µg/kg), sammenlignet med jord fra EU (41% prøver < 50 µg/kg).

I de norske prøvene gjorde vi mange funn i jordprøver fra frukt/bærareal, hvor over 75% av prøvene inneholdt mer enn 6 ulike plantevernmidler hver. I EU inneholdt bare 35% av jordprøvene fra disse kulturrene mer enn 6 plantevernmidler. Men frukt/bær-kategorien hos LUCAS Soil inneholder også jordprøver fra nøtteproduksjon, som kan være med på å redusere antall funn.

Ugrasmiddelet glyphosate (med nedbrytingsproduktet AMPA), som er mye brukt i kornproduksjon, var ikke en del av våre analyser, men ble analysert for i LUCAS. Ut fra disse forskjellene i søkespekter for analysene kunne man forvente flere funn i jord fra kornproduksjon i EU, enn i jord fra Norge. De faktiske forskjellene var imidlertid ikke særskilt store. De publiserte LUCAS-resultatene inkluderer ikke informasjon om de faktiske konsentrasjonsnivåene som er målt, kun relativt vide konsentrasjonsintervaller, og det er derfor vanskelig å vurdere om det er forskjeller i funn av plantevernmidler i kornproduksjon i Norge sett i forhold til LUCAS-landene. Sjeldent forekommende høye konsentrasjonsnivåer kan ha en større og mer akutt virkning enn hyppigere forekommende lave konsentrasjoner. Analysemetodene har generelt en lav bestemmelsesgrense som gjør at stoffene ofte påvises i konsentrasjonsnivåer som ligger langt under kjente NOEC-verdier.

4.2 Plantevernmidler i jord og jordhelseparametre

Litteraturstudien vi har gjennomført viste at plantevernmidler kan (negativt) påvirke prosesser i jord som blir sett på som viktige funksjoner i en sunn jord, men det finnes ingen etablerte jordhelseparametre som kan knyttes direkte til plantevernmiddelrester i jord. I tillegg er plantevernmiddelkonsentrasjoner i jord ikke blant de vanlige parameterne som undersøkes i studier med fokus på jordhelse. Noen av de benyttede jordhelseparametrene påvirkes av ulik brukspraksis (jordarbeiding, planterteiltak mv) og hvor effekten av det enkelte tiltak er vanskelig å skille ut. For eksempel er aggregatstabilitet foreslått som en jordhelseparameter (Rieke et al., 2022), men redusert aggregatstabilitet kan ha flere ulike årsaker. Det er også vist at jordbruk generelt kan ha negative

effekter på jordhelseparameter, spesielt på jordstruktur og mikrobielt samfunn i jord (Pervaiz et al., 2020).

Andre forslåtte jordhelseparameter inkluderer biotiske faktorer som mikrobiell biomasse, makroorganismer og jordenzymmer (Tabell 14). Effekter av plantevernmidler på virvelløse dyr er sammenstilt i en review-artikkel fra 2021 (Gunstone et al., 2021). Studien konkluderte viste at 0,5 % av studiene om effekter av plantevernmidler på virvelløse dyr i jord viser en negativ effekt. Spesielt amid/abalid ugrasmidler og benzimidazol soppmidler hadde en stor effekt på meitemark (Gunstone et al., 2021). Det ble også funnet i over 70% av studiene at blandinger av sopp-, ugras-, og skadedyrmidler førte til en økt dødelighet. Virvelløse dyr kan hente seg inn igjen etter en slik negativ effekt fra plantevernmidler, men det skjer ikke når plantevernmidler sprøytes år etter år og rester forblir i jord en stund etter sprøyting (Gunstone et al., 2021).

Det foreligger studier som dokumenterer hvilke negative effekter plantevernmidler kan ha på mikrobiell biomasse og jordenzymmer (Riah et al., 2014). Azoxystrobin for eksempel er vist å kunne ha en negativ effekt på ureaseaktivitet når den er sprøytet som angitt på etikett (Bacmaga et al., 2019). Urease er et viktig enzym i nitrogensyklusen i jorda (Riah et al., 2014). I vår klartlegging ble azoxystrobin påvist 35 ganger med en gjennomsnittskonsentrasjon på 24 ug/kg og en maksimalkonsentrasjon på 125,6 ug/kg. Plantevernmidler har også en effekt på mineralisering av organisk karbon i jorda og dette er et av vurderingskriteriene for å evaluere giftigheten av et plantevernmiddel og er en del av godkjenningen i EU. Godkjenningsdokumentasjon for azoxystrobin inkluderer studier som viser ingen/neglisjerbar effekt på nitrogen eller karbon mineralisering ved en dose på 2,5 kg/ha (dvs. 1,7-16,7 mg/kg jord avhengig av innblandingsdybde (1 til 10 cm)).

Effekten av plantevernmidler på mikrobefundet i jord er vanskelig å generalisere og det finnes en del avvikende/ulike resultater (Riah et al., 2014), men uansett om effekten er positiv, negativ eller nøytral, kan det skje en endring i populasjonsstørrelse/-sammensetning og aktivitetsnivå for jordorganismer (Johnsen et al., 2001) som kan endre balansen i jorda. Soppmidler er vist å være mer giftig enn skadedyr- og ugrasmidler (Bunemann et al., 2006). Sopp i jord er viktig for nedbrytning av organisk materiale og for nitrogenbinding og det er vist at mengende plantevernmiddelrester kan redusere forekomst av mykorrhiza-sopper og deres evne til å forsyne planter med næringsstoffer (Edlinger et al., 2022).

I noen av de undersøkte kulturene i denne sammenstilling finnes det mye rester av plantevernmidler både i antall og konsentrasjon. Dette kan ha effekter på planter, jordhelse og andre non-target-organismer. Det er ikke kjent hvordan rester av flere ulike plantevernmidler påvirker jordlivet, og hva konsekvensene av akkumulering av plantevernmiddelrester er. Ut fra data som ble presentert her kan det antas at det skjer en akkumulering av plantevernmiddelrester i Norge. Flere av plantevernmidlene som ble påvist i noen av jordprøvene ble ikke sprøytet i året der jordprøvene ble tatt ut. Det fører til rester av opptil 20 forskjellige plantevernmidler i jorden. Det mangler kunnskap om effekten som rester av ulike midler har på jordorganismer.

Om plantevernmidler påvirker jordorganismer kommer an på om plantevernmidler er tilgjengelig for jordorganismer eller ikke. Tilgjengelighet av plantevernmidler i jord er avhengig av egenskapene til plantevernmidlet, jordtype og mineralsk sammensetning av jorden. Små partikler som for eksempel leire binder plantevernmidler bedre enn for eksempel sand (Gavrilescu, 2005). Binde et plantevernmiddel til jordpartikler blir det gjort utilgjengelig for jordorganismer. Organisk materiale har også evne til å binde plantevernmidler. Det er estimert at 73% av den fulldyrka og overflatedyrka jorda i Norge inneholder < 6% organisk materiale (Lågbu et al., 2018). Leirinnhold i jord i Norge er hovedsakelig middels eller lavt (98% av arealet) (Lågbu et al., 2018). Disse karakteristika ved norsk jord kan indikere at en stor del av plantevernmiddelrester i jord i Norge er tilgjengelig for jordorganismer, men det er flere faktorer i jord som bestemmer om plantevernmidler er tilgjengelig eller ikke (Gavrilescu, 2005). Værforhold har stor innvirkning på hvor raskt plantevernmidler brytes

ned (VKM, 2015). Jordtype og klimaforhold kan dermed spille en rolle i hvor stor grad jordorganismer er utsatt for plantevernmidler og hvilken effekt de har på jordhelse.

Med tanke på at store deler av norsk jordbruksareal behandles med plantevernmidler årlig kreves økt vekt på eventuelle negative effekter av plantevernmidler (og mulige andre forurensninger) i jord ved studier av jordhelse. Dette for å understøtte/forklare målinger av jordegenskaper som har vært prioritert som parametre i jordhelsestudier så langt.

4.3 Konklusjoner og videre oppfølging

Datagrunnlaget og kunnskapsoppsummeringen som er fremkommet i prosjektet gir ikke grunnlag for å komme med konkrete anbefalinger ift. produksjonsmetoder utfra sammenhenger mellom plantevernmiddel(bruk) og jordhelse, men er etter vår mening et godt grunnlag for å gjøre prioriteringer for videre kartleggings- og overvåkingsarbeid for plantevernmidler i jord. Spesielt viktig er å se på dette i sammenheng med andre påvirkningsfaktorer av betydning for jordhelse for om mulig å kunne utlede sammenhenger og risikoindikatorer. Det bør arbeides videre med resultatene i tilgrensende prosjekter hos NIBIO (bl.a. JOVA-programmet, nytt jordovervåkingsprogram for Norge (JordVaak)).

Den gjennomførte kartleggingen av plantevernmiddelrester i norsk jordbruksjord peker på at det er spesielt på areal med bærproduksjon, poteter og fruktproduksjon vi ser rester av plantevernmidler i jord. Av de ulike typene plantevernmidler er det soppmidler som er mest påvist og gjenfinnes i de høyeste konsentrasjoner. Dette på tross av at ugrasmiddel er den gruppen som benyttes hyppigst og på størst areal. Kartleggingen som er gjennomført inkluderer en lang rekke relevante plantevernmidler og metabolitter, men enkelte mye brukte plantevernmidler er ikke inkludert på grunn av analysemetoden som ble valgt. Ugrasmidlet glyfosat er et av stoffene som ligger utenfor rammene av prosjektet. Vi ser at undersøkelser under LUCAS jordovervåkingsprogrammet i EU viser en rekke funn av ugrasmidlet glyfosat og nedbrytningsproduktet AMPA, og det vil være nyttig å kjenne forekomsten av dette midlet også i norsk jordbruksjord. Det er imidlertid ingen indikasjoner fra overvåkingen i EU at de målte/forekommende miljøkonsentrasjonene av disse stoffene bidrar nevneverdig til (blandings)toksisitet i jordbruksjord eller vil kunne medføre varige effekter i jordmiljø. Her pekes det på skadedyrmidler som imidakloprid (ikke lenger godkjent for bruk på friland i Norge/EU) og soppmidler som epoxiconazole og boscalid, hvor sistnevnte også var hyppig påvist i kartleggingen som rapporteres her.

Kunnskap om nivåer av blandinger av plantevernmidler i jord kan brukes til å implementere overvåkingsprogrammer for plantevernmiddelrester i jord og til å utløse toksisitetsvurderinger av blandinger av plantevernmiddelrester på et bredere spekter av jordarter for å kunne utføre mer omfattende og nøyaktige risikovurderinger for jordliv. Per i dag er ikke økotoksikologiske vurderinger av blandinger inkludert i EFSA's risikovurderinger av plantevernmidler. Det er i denne undersøkelsen gjennomført en vurdering av de målte konsentrasjonene av de enkelte plantevernmidler. Disse vurderingene indikerer ingen risiko for jordlevende organismer. Foreliggende forskningslitteratur indikerer imidlertid en reell risiko for blandingsgiftighet fra rester av mange ulike samtidig forekommende plantevernmidler i jordbruksjord. Metodikken for slike vurderinger er ikke godt utviklet, men en konservativ vurdering av blandingstoksisitet som hensyntar den mest sensitive organisme(gruppe) for hvert enkelt plantevernmiddel i en blanding er utviklet og benyttet i LUCAS overvåkingen og ble publisert juli 2023. Her ble 1,7% av de undersøkte lokalitetene karakterisert som lokaliteter med økt risiko. En slik beregning burde også gjennomføres for materialet som er presentert her, samt tas videre i det norske nasjonale jordovervåkingsprogrammet JordVaak som er under etablering i 2023.

Den gjennomførte kartleggingen presenterer et øyeblikksbilde for hver enkelt lokalitet da prøvene er tatt ut på et fåtall tidspunkt over et eller to år. Et overvåkingsprogram med jevnlig gjentak av

prøveuttak på faste lokaliteter, slik det legges opp til i JordVaak programmet, er nødvendig for å kunne si noe om varighet av et stress/press fra plantevernmidler, eventuell risiko for langvarige effekter og utviklingstrender over tid. Vår kartlegging bekrefter at forekomst av plantevernmidler er en like aktuell tematikk for norsk jordbruksjord som for resten av Europa, og viser at vårt kalde klima i enkelte tilfeller kan føre til lenger persistens og også en mulig påvirkning fra plantevernmidler i jord over tid. utfordringer med dagens metoder for risikovurdering og aktuelle utviklingsbehov for å fange opp hvordan plantevernmidler (kan) påvirke(r) jordorganismer på kort og lengre sikt har vært diskutert over lengre tid (bl.a. Ockleford et al., 2017; Urionabarrenetxea et al., 2022). Det pekes på at metodene (i større grad) må vurdere hyppighet av sprøyting, ulike konsentrasjonsnivåer, tid for jordorganismene til å 'hente seg inn igjen' (recovery time), og hva som er en akseptabel justering av 'baseline' for jordorganismesamfunnet som følge av plantevernmiddelpåvirkning.

Det vil bli viktig å bruke informasjonen fra det nye jordovervåkingsprogrammet JordVaak som er under etablering til å bedre vår kunnskap om eventuell samvariasjon mellom ulike stressfaktorer i systemet og viktige jordhelseparametre (dvs. status for viktige jordfunksjoner under ulike forhold). Resultatene fra slike overvåkingsprogrammer vil imidlertid preges av mange ulike påvirkningsfaktorer og potensielt stor variasjon over tid. Dette vil gjøre det vanskelig å finne klare sammenhenger mellom påvirkningsfaktorer og jordhelseparametre. Derfor er det behov for målretta studier for å etablere kunnskap om slike sammenhenger; både ved å se på systemer man tror vil virke positivt og på faktorer man tror vil virke negativt. Jordhelseforskningen har så langt lagt lite vekt på å etablere kunnskap om effekten av plantevernmidler på jordhelse.

Litteraturreferanser

- Almvik, M; Bolli, RI; Christiansen, A; Eklo, OM; Holten, R; Viki Senneset, G; Wærnhus, K. 2014. Nedbryting av soppmidler i norsk klima. Bioforsk TEMA vol 9(4). <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2443571>
- Almvik, M; Eklo, OM; Stenrød, M; Nyborg, Å; Hole, H. 2016. Plantevernmidler i miljøet i jordbruket i Norge. NIBIO POP;2(27)2016. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2404930>
- Almvik, M., Budai, A., Nielsen, K.A.G., Hauso, I., Bach, O., Bolli, R., Eklo, O.M., Haugse, S., Stenrød, M. 2021. Persistens av plantevernmidler og effekt på mikrobiell funksjonalitet i jord i norsk bærproduksjon (2017-2021). Sluttrapport for prosjekt 2018-63975 og 2019-60225 for Landbruksdirektoratet.
- Andreu, V., & Pico, Y. (2004). Determination of pesticides and their degradation products in soil: critical review and comparison of methods [Article]. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 23(10-11), 772-789. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.07.008>
- Bacmaga, M., Wyszowska, J., & Kucharski, J. (2019). The biochemical activity of soil contaminated with fungicides [Article]. *Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 54(4), 252-262. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1553908>
- Badawi, N., Karan, S., Haarder, E. B., Rosenbom, A. E., Lasse, G., Hansen, C. H., Nielsen, C. B., Finn, P., Kirsten, K., & Olsen, P. (2022). *The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme Monitoring results May 1999–June 2020*. https://pesticidvarsling.dk/?page_id=220
- Bechmann, M., Stenrød, M., Kværnø, S. H., & Eggestad, H. O. (2021). Erosjon og tap av næringsstoffer og plantevernmidler fra jordbruksdominerte nedbørfelt - Sammendragsrapport fra Program for jord- og vannovervåking i landbruket (JOVA) for 1992—2019. *NIBIO Rapport*, 7(135).
- Bonfante, A., Basile, A., & Bouma, J. (2020). Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal [Article]. *Soil*, 6(2), 453-466. <https://doi.org/10.5194/soil-6-453-2020>
- Bundschuh, M., Goedkoop, W., & Kreuger, J. (2014). Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept - Experiences from long-term measurements [Article]. *Science of the Total Environment*, 484, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.015>
- Bunemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z. G., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mader, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality - A critical review [Review]. *Soil Biology & Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Bunemann, E. K., Schwenke, G. D., & Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms - a review [Review]. *Australian Journal of Soil Research*, 44(4), 379-406. <https://doi.org/10.1071/sr05125>
- Degrendele, C., Okonski, K., Melymuk, L., Landlová, L., Kukučka, P., Audy, O., Kohoutek, J., Čupr, P., & Klánová, J. (2016). Pesticides in the atmosphere: a comparison of gas-particle partitioning and particle size distribution of legacy and current-use pesticides. *Atmos. Chem. Phys.*, 16(3), 1531-1544. <https://doi.org/10.5194/acp-16-1531-2016>
- EC. (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Thematic Strategy for Soil Protection. *COM(2006)231 final*.
- EC. (2008). European Commission: Review report for the active substance boscalid. Finalised in the Standing Committee on the Food Chain and Animal Health at its meeting on 22 January 2008 in view of the inclusion of boscalid in Annex I of Council Directive 91/414/EEC. 2008.
- EC. (2009). Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and

- repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC. *Official Journal of the European Union*, L 309/1. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/2022-11-21> EC. (2023). *EU Pesticides Database* <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>
- EC. (2023). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law). https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en
- EC. (2023b). *EU Pesticides Database* <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>
- Edlinger, A., Garland, G., Hartman, K., Banerjee, S., Degrune, F., García-Palacios, P., Hallin, S., Valzano-Held, A., Herzog, C., & Jansa, J. (2022). Agricultural management and pesticide use reduce the functioning of beneficial plant symbionts. *Nature Ecology & Evolution*, 6(8), 1145-1154. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01799-8>
- EFSA. (2022). The 2020 European Union report on pesticide residues in food. *EFSA Journal*, 20(3), e07215. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7215>
- Eklo, O.M., Kværner, J., Solbakken, E., Lågbu, R., Odenmarck, S.R., Bolli, R., Almvik, M., Solberg, I., 2019. Plantevernmidler i grunnvann og verktøy for tiltak. Rapport fra et prosjekt finansiert av Landbruksdirektoratets Klima- og miljøprogram. NIBIO Rapport 5 (92).
- Gavrilescu, M. (2005). Fate of pesticides in the environment and its bioremediation [Review]. *Engineering in Life Sciences*, 5(6), 497-526. <https://doi.org/10.1002/elsc.200520098>
- Geissen, V., Silva, V., Lwanga, E. H., Beriot, N., Oostindie, K., Bin, Z. Q., Pyne, E., Busink, S., Zomer, P., Mol, H., & Ritsema, C. J. (2021). Cocktails of pesticide residues in conventional and organic farming systems in Europe- Legacy of the past and turning point for the future* [Article]. *Environmental Pollution*, 278, 11, Article 116827. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116827>
- Gunstone, T., Cornelisse, T., Klein, K., Dubey, A., & Donley, N. (2021). Pesticides and soil invertebrates: A hazard assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 122. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.643847>
- Herbertsson, L., Jonsson, O., Kreuger, J., Smith, H. G. & Rundlöf, M., 2021. Scientific note: Imidacloprid found in wild plants downstream permanent greenhouses in Sweden. *Apidologie* (2021). <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00876-4>
- Holten, R., Bøe, F. N., Almvik, M., Katuwal, S., Stenrød, M., Larsbo, M., Jarvis, N., & Eklo, O. M. (2018). The effect of freezing and thawing on water flow and MCPA leaching in partially frozen soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, 219, 72-85. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.11.003>
- Holten, R., Larsbo, M., Jarvis, N., Stenrod, M., Almvik, M., & Eklo, O. M. (2019). Leaching of Five Pesticides of Contrasting Mobility through Frozen and Unfrozen Soil. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1-10. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.11.0201>
- Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., & Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol 102 (Vol. 102, pp. 159-200). Elsevier Academic Press Inc. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(09\)01005-0](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(09)01005-0)
- Imfeld, G., & Vuilleumier, S. (2012). Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review [Review]. *European Journal of Soil Biology*, 49, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.11.010>
- Joimel, S., Chassain, J., Artru, M., & Fabure, J. (2022). Collembola are Among the Most Pesticide-Sensitive Soil Fauna Groups: A Meta-Analysis [Review]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(10), 2333-2341. <https://doi.org/10.1002/etc.5428>
- Jørgensen, P., Sørensen, R., Prestvik O. 2013. Norske Jordarter. http://www.jordforeningen.no/?page_id=89
- Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiftonell, P., Smith, P., Cerda, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the

- United Nations Sustainable Development Goals [Article]. *Soil*, 2(2), 111-128.
<https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>
- Kvaerner, J., Eklo, O. M., Solbakken, E., Solberg, I., & Sorknes, S. (2014). An integrated approach for assessing influence of agricultural activities on pesticides in a shallow aquifer in south-eastern Norway [Article]. *Science of the Total Environment*, 499, 520-532.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.044>
- Landbruksdirektoratet. (2020). *Nasjonalt program for jordhelse. Faggrunnlag og forslag til utvikling av tiltak og virkemidler for økt satsing på jordhelse (13/2020)*.
https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/filarkiv/rapporter/Nasjonalt%20program%20for%20jordhelse.%20Rapport%20nr_13_2020.pdf/_attachment/inline/6fff33e6-b4f4-4e65-9d53-4edf628db4a4:eaed346e45814aac397ee823a2bcd847ab037791/Nasjonalt%20program%20for%20jordhelse.%20Rapport%20nr_13_2020.pdf
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kogel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health [Article]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
<https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064. <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>
- Li, Y., Long, L., Ge, J., Li, H. C., Zhang, M., Wan, Q., & Yu, X. Y. (2019). Effect of Imidacloprid Uptake from Contaminated Soils on Vegetable Growth [Article]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(26), 7232-7242. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00747>
- Li, Y., Yang, L. X., Yan, H. Q., Zhang, M., Ge, J., & Yu, X. Y. (2018). Uptake, translocation and accumulation of imidacloprid in six leafy vegetables at three growth stages [Article]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 690-695.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.082>
- LMD. (2021). *Handlingsplan for bærekraftig bruk av plantevernmidler (2021-2025)*. 9/2021.
https://www.regjeringen.no/contentassets/acfba3c3a1c348869b766842ed06c801/m-0761-b_pdf-ts.pdf
- Lågbu, R., Nyborg, Å. A., & Svendgård-Stokke, S. (2018). Jordsmonnstatistikk Norge. *NIBIO Rapport*, 4(13). <http://hdl.handle.net/11250/2484038>
- MacDonald, R. W., Barrie, L. A., Bidleman, T. F., Diamond, M. L., Gregor, D. J., Semkin, R. G., Strachan, W. M. J., Li, Y. F., Wania, F., Alaee, M., Alexeeva, L. B., Backus, S. M., Bailey, R., Bewers, J. M., Gobeil, C., Halsall, C. J., Harner, T., Hoff, J. T., Jantunen, L. M. M., Lockhart, W. L., Mackay, D., Muir, D. C. G., Pudykiewicz, J., Reimer, K. J., Smith, J. N., Stern, G. A., Schroeder, W. H., Wagemann, R., & Yunker, M. B. (2000). Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways [Review]. *Science of the Total Environment*, 254(2-3), 93-234. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00434-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00434-4)
- Martin-Laurent, F., Kandeler, E., Petric, I., Djuric, S., & Karpouzas, D. G. (2012). ECOFUN-MICROBIODIV: an FP7 European project for developing and evaluating innovative tools for assessing the impact of pesticides on soil functional microbial diversity—towards new pesticide registration regulation? *Environmental Science and Pollution Research*, 20(2), 1203-1205. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1368-0>
- Mattilsynet (2023). *Omsetningsstatistikk for plantevernmidler 2018-2022*.
https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/godkjenning_av_plantevernmidler/statistikk__omsetning_av_plantevernmidler.3094
- Mattilsynet & NIBIO (2022). *Overvåkingsresultater for plantevernmiddelrester i næringsmidler 2021*.
https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/plantevernmidler/
- Miljøstyrelsen (2022). *Bekæmpelsesmiddelstatistik 2020; Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug*. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 54, Januar 2022. <https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/pesticider/anvendelse-af-pesticider/forbrug-af-pesticider-statistik/bekaempelsesmiddelstatistik>

- Nanos T., Gutfreund C., Lindström, B. 2019. Resultat från miljöövervakningen av bekämpningsmedel (växtskyddsmedel). Årssammanställning 2019. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö. Rapport 2020:8
- NIBIO. (2023). *Arealbarometer*. Retrieved 22.05.2023 from <https://arealbarometer.nibio.no/>
- OECD. (2016). OECD guidelines for the testing of chemicals: Test No. 222: Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*). <https://doi.org/10.1787/9789264264496-en>
- Ockleford, C., Adriaanse, P., Berny, P., Brock, T., Duquesne, S., Grilli, S., Hernandez-Jerez, A. F., Bennekou, S. H., Klein, M., Kuhl, T., Laskowski, R., Machera, K., Pelkonen, O., Pieper, S., Stemmer, M., Sundh, I., Teodorovic, I., Tiktak, A., Topping, C. J., Wolterink, G., Craig, P., de Jong, F., Manachini, B., Sousa, P., Swarowsky, K., Auteri, D., Arena, M., & Rob, S. (2017). Scientific Opinion addressing the state of the science on risk assessment of plant protection products for in-soil organisms. *EFSA Journal*, 15(2), e04690. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4690>
- Orgiazzi, A., Panagos, P., Fernández-Ugalde, O., Wojda, P., Labouyrie, M., Ballabio, C., Franco, A., Pistocchi, A., Montanarella, L., & Jones, A. (2022). LUCAS Soil Biodiversity and LUCAS Soil Pesticides, new tools for research and policy development. *European Journal of Soil Science*, 73(5), e13299. <https://doi.org/10.1111/ejss.13299>
- Panico, S. C., van Gestel, C. A. M., Verweij, R. A., Rault, M., Bertrand, C., Menacho Barriga, C. A., Coeurdassier, M., Fritsch, C., Gimbert, F., & Pelosi, C. (2022). Field mixtures of currently used pesticides in agricultural soil pose a risk to soil invertebrates. *Environmental Pollution*, 305, 119290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119290>
- Passioura, J. B. (2002). 'Soil conditions and plant growth' [Article]. *Plant Cell and Environment*, 25(2), 311-318. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00802.x>
- Pelosi, C., Bertrand, C., Daniele, G., Coeurdassier, M., Benoit, P., Nélieu, S., Lafay, F., Bretagnolle, V., Gaba, S., Vulliet, E., & Fritsch, C. (2021). Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A silent threat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107167. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107167>
- Pervaiz, Z. H., Iqbal, J., Zhang, Q. M., Chen, D. M., Wei, H., & Saleem, M. (2020). Continuous Cropping Alters Multiple Biotic and Abiotic Indicators of Soil Health [Review]. *Soil Systems*, 4(4), 30, Article 59. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040059>
- Pommeresche, R. (2020). Jordlappen - 10 indikatorer for vurdering av jordkvalitet og jordhelse. *NORSØK Rapport*, 5(1). <https://orgprints.org/id/eprint/37074/2/Jordlappen%20rapportform%20NORS%C3%98K%20Rapport%202020%20.pdf>
- Ramakrishnan, B., Venkateswarlu, K., Sethunathan, N., & Megharaj, M. (2019). Local applications but global implications: Can pesticides drive microorganisms to develop antimicrobial resistance? [Review]. *Science of the Total Environment*, 654, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.041>
- Riah, W., Laval, K., Laroche-Ajzenberg, E., Mouglin, C., Latour, X., & Trinsoutrot-Gattin, I. (2014). Effects of pesticides on soil enzymes: a review [Review]. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 257-273. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0458-2>
- Riedo, J., Wettstein, F.E., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T.D., Walder, F., van der Heijden, M.G.A., 2021. Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils—the Ghost of a Conventional Agricultural Past? *Environmental Science and Technology* 2021, 55, 5, 2919–2928.
- Rieke, E. L. et al. (2022). Evaluation of aggregate stability methods for soil health. *Geoderma*, 428, 116156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116156>
- Rosenbom, A. E., Olsen, P., Plauborg, F., Grant, R., Juhler, R. K., Brusck, W., & Kjaer, J. (2015). Pesticide leaching through sandy and loamy fields - Long-term lessons learnt from the Danish Pesticide Leaching Assessment Programme [Article]. *Environmental Pollution*, 201, 75-90. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.002>

- Roseth, R., Carr, C.H., Almvik, M., Dagestad, A., Kværner, J., 2022. Overvåking av plantevernmidler i grunnvann i jordbruksområder 2019-2021. haslemoen, Rimstadmoen, Lærdal, Horpestad, Grødalen og Skogmo. NIBIO Rapport 8 (57).
- Sabzevari, S., & Hofman, J. (2022). A worldwide review of currently used pesticides' monitoring in agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 812, 152344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152344>
- SCB. (2022). Växtskyddsmedel i jordbruket 2021. *Statistiska Meddelanden MI 31 SM 2201*. https://www.scb.se/contentassets/189b45d9fdbf48d9821afe30b8440ae4/mi0501_2021a01_sm_mi31sm2201.pdf
- Silva, V., Mol, H. G., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532-1545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>
- Silva, V. A. F. d. G. (2022). *Pesticide residues in EU soils and related risks*. Wageningen University & Research. Retrieved 02.05.2023 from
- Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development [Review]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 140(3-4), 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
- Skaalsveen, K., Gillund, F., & Aandahl, T. R. (2022). Jordhelse i arktisk grøntproduksjon. *NIBIO Rapport*, 8(86).
- Stenrod, M., Perceval, J., Benoit, P., Almvik, M., Bolli, R. I., Eklo, O. M., Sveistrup, T. E., & Kvaerner, J. (2008). Cold climatic conditions: Effects on bioavailability and leaching of the mobile pesticide metribuzin in a silt loam soil in Norway [Article; Proceedings Paper]. *Cold Regions Science and Technology*, 53(1), 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2007.06.007>
- Stenrod, M. (2015). Long-term trends of pesticides in Norwegian agricultural streams and potential future challenges in northern climate. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 65(sup2), 199-216. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.977339>
- Stolte, J., Mehreteab, T., Lillian, Ø., Sigrun, K., Jacob, K., Frank, V., Panos, P., Cristiano, B., & Rudi, H. (2016). *Soil threats in Europe* (Vol. EUR 27607). <https://doi.org/10.2788/488054>
- Svendgård-Stokke, S., Kolberg, D., Cannell, R., Lågbu, R., Klakegg, O. M., Ulfeng, H., Nyborg, Å. A., Bardalen, A., & Strand, G.-H. (2021). Jordsmonnet vi lever av. Forslag til system for dokumentasjon og rapportering av jordsmonnets tilstand og endring. *NIBIO Rapport*, 7(14), 67Tukes. (2022). Sales volumes of plant protection products placed on the market in Finland <https://tukes.fi/en/chemicals/plant-protection-products/sales-volumes>
- Tukes. (2022). Sales volumes of plant protection products placed on the market in Finland <https://tukes.fi/en/chemicals/plant-protection-products/sales-volumes>
- Urionabarretxea, E., Casás, C., Garcia-Velasco, N., Santos, M., Tarazona, J.V., Soto, M., 2022. Predicting environmental concentrations and the potential risk of Plant Protection Products (PPP) on non-target soil organisms accounting for regional and landscape ecological variability in european soils. *Chemosphere* 303:135045. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135045>
- Veerman, C., Pinto Correia, T., Bastioli, C., Biro, B., Bouma, J., Cienciala, E., Emmett, B., Frison, E., Grand, A., Hristov, L., Kriaučiūnienė, Z., Pogrzeba, M., Soussana, J., Vela, C., & Wittkowski, R. (2020). *Caring for soil is caring for life : ensure 75% of soils are healthy by 2030 for food, people, nature and climate : report of the Mission board for Soil health and food*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2777/821504>
- Verma, J. P., Jaiswal, D. K., & Sagar, R. (2014). Pesticide relevance and their microbial degradation: a state-of-art [Review]. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 13(4), 429-466. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9341-7>
- Vieira, D., Franco, A., De Medici, D., Martin Jimenez, J., Wojda, P. and Jones, A., Pesticides residues in European agricultural soils - Results from LUCAS 2018 soil module, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/86566, JRC133940. Retrieved 22.08.2023.

- VKM. (2015). Degradation and mobility of pesticides in Norwegian soils. Opinion of the Panel on Plant Protection Products of the Norwegian Scientific Committee for Food Safety. *VKM Report, 34*.
- VKM. (2021). Establishing the representativeness of available surface water scenarios for plant protection products in environmental risk assessment in Norway. *VKM Report, 2021:11*.
- Wolejko, E., Jablonska-Trypuc, A., Wydro, U., Butarewicz, A., & Lozowicka, B. (2020). Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides - A review [Review]. *Applied Soil Ecology, 147*, 13, Article 103356. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.006>
- Yao, Y., Harner, T., Blanchard, P., Tuduri, L., Waite, D., Poissant, L., Murphy, C., Belzer, W., Aulagnier, F., & Sverko, E. (2008). Pesticides in the atmosphere across Canadian agricultural regions [Article]. *Environmental Science & Technology, 42*(16), 5931-5937. <https://doi.org/10.1021/es800878r>
- Aarstad, P.A., Bjørlo, B., 2019. Bruk av plantevernmidler i jordbruket i 2017. SSB Rapporter 2019/23. https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/394291?_ts=16cb41e4778

Etterord

Denne rapporten inkluderer en sammenstilling av data for funn av plantevernmidler i jordbruksjord i et bredt spekter av norske jordtyper og produksjonsformer. Dataene antas å gi et representativt bilde av forekomst av plantevernmidler i norsk jordbruksjord. Rapporten inkluderer en vurdering av mulig påvirkning fra slike rester av plantevernmidler på jordkvalitet og jordhelse, samt peker på viktige kunnskapsmangler og forskningsbehov

Nøkkelord:	Plantevernmidler, jordbruksjord, jordhelse, jordkvalitet
Key words:	Pesticides, agriculture soil, soil health, soil quality
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	

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

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

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

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