



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Muligheter for en mer effektiv utnyttelse av planterestene

Agronomi som sikrer god jordhelse, avling og plantehelse i korn

NIBIO RAPPORT | VOL. 9 | NR. 114 | 2023



Till Seehusen, Trond Maukon Henriksen, Chloé Grieu, Ingerd Show Hofgaard, Andrea Ficke, Kirsten Tørresen, Franziska Fischer, Marianne Bechmann, Alice Budai, Daniel Rasse, Robert Barneveld

TITTEL/TITLE

Muligheter for en mer effektiv utnyttelse av planterestene - Agronomi som sikrer god jordhelse, avling og plantehelse i korn

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Till Seehusen, Trond Maukon Henriksen, Chloé Grieu, Ingerd Show Hofgaard, Andrea Ficke, Kirsten Tørresen, Franziska Fischer, Marianne Bechmann, Alice Budai, Daniel Rasse, Robert Barneveld

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
03.10.2023	9/114/2023	Åpen	52694	21/01348
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-03352-3	2464-1162	66		

OPPDRAUGSIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet – Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FFL/JA)

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**STIKKORD/KEYWORDS:**

Kornproduksjon, utnyttelse av planterester, agronomi, jordstruktur, jordhelse, erosjon, plantevern, økonomi, forskningsbehov

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Kornproduksjon, jordfag

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Tap av organisk materiale, jordpakking og erosjon truer jordhelsen på kornareal. Problemer med dette vil antagelig øke i et våtere klima og medføre store kostnader for både gårdbrukere og samfunn. Fremover må vi passe på å stabilisere erosjonsutsatt jordoverflate og sikre en god infiltrasjon av nedbør. På kornareal er lav årlig tilførsel av karbon en begrensende faktor for aggregering og stabilisering, men dette kan forbedres ved å beholde halmen på jordet eller bruke en tilpasset fangvekststrategi. En bør trolig skjevfordele tilført organisk materiale mer mot jordas overflate og dermed stimulere mikrobiell aktivitet i jordas toppsjikt. Da må en minimere jordarbeidingsintensiteten. Slik redusert jordarbeiding fører også til utvikling av et kontinuerlig poresystem nedover i profilet som kan øke infiltrasjonen etter kraftige nedbørsepisoder og dermed bidra til å dempe flomtoper. Store mengder plantemateriale ved jordoverflaten gir imidlertid også noen utfordringer. Det trengs økt kunnskap om ugrasbekjempelse, spesielt i et scenario der glyfosat blir forbudt. Minimal jordarbeiding med planterester på jordoverflaten kan også øke angrep av sopp. Integreerte plantevernstrategier bør identifisere arter og sorter av matplanter og fangvekster som kan bidra til å begrense forekomst av patogener i jord og halmrester. Bedre jordhelse på kornareal er en tverrfaglig utfordring og krever en varig endring av dagens dyrkingspraksis.

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Innlandet

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

KOMMUNE/MUNICIPALITY: Østre Toten

STED/LOKALITET: Apelsvoll

GODKJENT /APPROVED

Hugh Riley

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Till Seehusen

NAVN/NAME



Innhold

Forord	6
1 Innledning - Behov for god dyrkingspraksis i korndyrkinga	7
2 Planter og planterester som ressurs	9
2.1 Halmen	9
2.1.1 Utvikling av avlinger og halmmengder	9
2.1.2 Halmmengder tilgjengelig	10
2.1.3 Beregning av halmmengde ut fra avlingstall	10
2.1.4 Effekt av stubbhøyde	11
2.1.5 Bruk av halmen	11
2.1.6 Næringsinnhold i halmen	12
2.1.7 Fjerne eller beholde halmen	13
2.1.8 C:N forhold og nedbryting	13
2.1.9 Avlingseffekter av å beholde halmen	13
2.2 Fangvekst	15
2.2.1 Dyrkingsomfang	15
2.2.2 Dyrkingsstrategier	15
2.2.3 Fangvekstenes økosystemtjenester	16
2.2.4 Fangvekstenes effekt på avlingen	16
3 Jordarbeidingsystemer	17
3.1 Utbredelse av ulike jordarbeidingsmetoder	17
3.2 Typer jordarbeiding	18
3.3 Utvikling av maskinene	20
3.4 Utvalg av maskiner	21
3.5 Avlingseffekter av redusert jordarbeiding	21
4 Jordeffeakter	23
4.1 Behov for bedre jordstruktur	23
4.2 Planterester og jordstabilitet	24
4.3 Planterester og jordstruktur	24
4.4 Jordstruktur og jordhelse	25
5 Erosjon	27
5.1 Erosjon –prosesser og trusler	27
5.2 Fangvekster og jordarbeiding som reduserer erosjonsrisiko	28
5.3 Planterester og nitrogen	29
6 Karbon	31
7 Planterester, plantesjukdommer og ugras	35
7.1 Planterester og overlevelse av soppsjukdommer	35
7.1.1 Sammenhengen mellom mengde stubb og halmrester og overlevelse av soppsjukdommer i korn	35
7.1.2 Hvordan økt diversitet av planter (vekstskifte, fangvekster) kan påvirke overlevelse av sopp som forårsaker sykdom i korn	38

7.2 Redusert jordarbeiding og ugras	40
8 Økonomi	43
8.1 Dieselkostnader	43
8.2 Tidsforbruk og laglighetskostnader	44
8.3 Økonomiske resultater av jordarbeiding	45
8.4 Kostnader ved jordforringelse	45
8.5 Kostnader for plantevern	45
8.6 Kostnader for fangvekst	46
8.7 Presisjonslandbruk	46
9 Forskningsbehov	48
9.1 Halm	48
9.2 Fangvekst	48
9.3 Kombinasjon av planterestene	48
9.4 Jordarbeiding og jordstruktur	48
9.5 Erosjon	49
9.6 Organisk materiale	49
9.7 Plantevern	49
9.8 Økonomi	50
10 Konklusjoner	51
Litteraturreferanse	52

Forord

Det er mye å spekulere på om man tar en kjøretur rundt Mjøsa en septemberdag. Store mengder halmbunter som ligger samlet langs veiene og som tydeligvis skal selges og kjøres bort. Det er klart at dette fører til en redusert tilførsel av karbon til åkerjorda. Kanskje er dette en del av forklaringen på målinger som viser at det skjer en nedgang i mengde organisk materiale i jorda innen de sentrale områder for kornproduksjon i Norge? Dette kan ha negative effekter for jordstabiliteten og gi økte problem med jorderosjon og eutrofiering av ferskvannssystem. Jordas egen fruktbarhet kan også bli redusert i takt med nedgangen i organisk materiale, og dette setter både gårdbruker og samfunn i en sårbar posisjon når det gjelder økonomi og matvaresikkerhet. Hva kan vi gjøre for å beholde eller øke mengde organisk materiale i jordbruksjorda på det sentrale Østlandet? Er det ikke nærliggende å tilbakeføre halmen som allerede finnes på jorda istedenfor for å fjerne den? Et annet tiltak som kan bidra til økt karbontilførsel på kornareal er å bruke fangvekster, og disse bidrar jo definitivt også til reduksjon av erosjon av jord og næringsstoff. Hvordan burde sånne planter og planterester behandles for å utnytte dem best mulig og slik at de ikke blir til besvær? Er det mulig å kombinere bruk av store mengder planterester med en reduksjon i jordarbeidingsintensiteten – kanskje helt i retning av direktesåing? Redusert jordarbeidingsintensitet er antagelig helt nødvendig for å øke effektiviteten, redusere drivstofforbruket og for å stabilisere jorda i korndyrkinga. Eller gir kombinasjonen av plantebiomasse og redusert jordarbeiding for store problemer med å lage til et godt såbed og en sikker oppspiring? Blir det økte problem med ugras og soppsjukdommer eller kan man finne gode strategier for å unngå dette?

Spør man andre fagpersoner – både forskere, rådgivere og gårdbrukere finner man fort ut at det finnes en god del kunnskapshull på dette området. Derfor ble det søkt tilskudd fra «Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri» (FFL/JA) for å utrede kunnskapsstatus rundt «Agronomi som forbedrer jordhelsa på kornareal» og basert på dette ble det sendt inn en søknad med tittel 'Agronomy for improved Soil health in cereal production (AgriSoil)' til Forskningsrådet i februar 2023.

Den foreliggende rapporten er en oppsummering av kunnskapsstatus knyttet til jordarbeiding, halm og fangvekst, potensialet tiltakene har for å øke jordhelsa på kornareal, samt utfordringene i praktisk drift. Det spesifiseres også forskningsbehov innenfor temaene.

Prosjektet er finansiert gjennom 'Forskningsmidlene for jordbruk og matindustri' (FFL/JA).

NIBIO avd. Korn og frøvekster har vært prosjekteier, ved FoU-ansvarlig Wendy Waalen.

Rapporten er kvalitetssikret av Hugh Riley og Annbjørg Kristoffersen, som sammen med Torbjørn Haukås (alle NIBIO) takkes for diskusjon og innspill.

Till Seehusen

1 Innledning - Behov for god dyrkingspraksis i korndyrkinga

Flere internasjonale hendelser i den senere tid har økt vårt fokus på behovet for en høy og vedvarende nasjonal matproduksjon. Det kan oppnås ved å ta i bruk ny teknologi og nye metoder som øker produksjonseffektiviteten, reduserer behovet for fossil energi og reduserer klimagassutslippene. Klimasmarte, bærekraftige dyrkingssystemer må innebære vedlikehold av den grunnleggende produksjonsressursen, jorda, og føre til bedre jordhelse.

Dyrkingssystemer har tidligere ofte blitt evaluert ut fra avlingsmengde og kortsiktig lønnsomhet (Schipanski mfl., 2014). For lite fokus på jordhelse har ført til jordforringelse, med tap av organisk materiale, jordpakking og erosjon som de viktigste avlingsbegrensende faktorene (EU comission (2018) også i Norge (Uhlen mfl., 2017, Petersen mfl., 2010). Studier (Graves mfl., 2015) viser at jordforringelse kan koste både bønder og samfunn opp til 56- 140 € / ha / år og behovet for god jordhelse er derfor implementert i FN's 17 bærekraftsmål (SDG 15).

Minimal jordarbeiding og utstrakt bruk av fangvekster er to grunnleggende prinsipper som fremheves som essensielle i det nasjonale strategidokumentet om jordhelse (Landbruksdirektoratet (2020). Nasjonalt program for jordhelse, 13.). Der slås det også fast at disse prinsippene bør integreres i god forvaltningspraksis for å sikre den nasjonale matproduksjon i fremtiden. Dyrkingsstrategier som fører til høy karbontilførsel og gjennom aktiviteten til et mangfoldig jordorganisme-samfunn også gir god aggregering og jordstruktur, er viktig for å møte framtidens klima og er avgjørende for å unngå jordpakking, erosjon og næringstap til vann-system.

På kornareal over det sentrale Østlandet synker stadig mengden organisk materiale i jorda. Riley og Bakkegaard (2006) viste at den årlige nedgangen lå på rundt en prosent av det opprinnelige nivået. I en norsk langvarig studie av hvordan dyrkingspraksis påvirker karboninnholdet i jorda (Dyrkingssystemforsøket på Apelsvoll; Riley mfl., 2022) så en at det var omtrent balanse i oppbygging og nedbryting av karboninnholdet på husdyrbruk, mens det var en betydelig nedgang i karboninnholdet ved kornproduksjon. Spesielt var nedgangen markant i et system med tre år korn og ett år potet, der halmen fjernes og det høstpløyes. I et annet system med nøyaktig samme vekstskifte men der halmen beholdes, og det brukes fangvekster og redusert jordarbeiding, var nedgangen betydelig mindre. Studien kan ikke brukes til å kvantifisere hvilken betydning de enkelte faktorer (halm/fangvekst/jordarbeiding) har for denne forskjellen, men viste at det var en sammenheng mellom totalt tilført mengde karbon og endring i moldinnholdet. Internasjonale studier viser at tilbakeføring av halmen økte konsentrasjon av organisk materiale med opptil 13 %, mens redusert jordarbeiding stod for en økning på ca. 5 % (Liu mfl., 2014).

Gitt betydningen av organisk materiale i jorda for dens helse og funksjonalitet, må en se nøye på hvilke kilder til energi- og karbontilførsel som finnes tilgjengelig. Både det å beholde halmen på jordet og bruk av fangvekster er viktige kilder for tilførsel av karbon. En tilbakeføring av planterester øker jordas aggregering og stabilitet og har en positiv effekt på jordstruktur og infiltrasjonsevne over tid. Dette hjelper å begrense erosjon og avrenning gjennom høsten og gjennom snøsmeltingsperioden. Organisk gjødsel og organiske avfallsprodukter er også kilder for tilførsel av karbon, og viktige i det store regnskapet, men er i hovedsak allerede benyttet på landbruksjord.

Erfaring viser at bruk av fangvekster og tilbakeføring av store mengder biomasse kan medføre endel utfordringer når en reduserer jordarbeidingsintensiteten. Planterester kan hemme spiring og planteetablering, samt at soppsporier kan overvintre på planterestene. Det gir økt risiko for smitte og sykdom året etterpå. Redusert jordarbeiding kan også føre til problem med ugras og det øker behovet for effektive plantevernstrategier. Bruk av fangvekster, særlig de ettårige, begrenser utvalget av

ugrasmidler som kan brukes. Ugrasbekjempelse i systemer som kombinerer fangvekst og redusert jordarbeiding er derfor krevende.

Økende priser på innsatsfaktorer og energi øker interessen for å redusere jordarbeidingsintensiteten, men med forrige generasjons maskiner og redskap hadde en ofte utfordringer med å håndtere større mengder planterester. Utvikling av nye typer jordarbeidingsutstyr og nye såmaskiner gjør det nå mulig å lykkes med direktesåing også i systemer med mye halm og fangvekst.

I denne rapporten ser vi på hvordan vi kan bruke planter og planterester (fangvekster og halm) for å bedre jordhelsen på kornareal når vi samtidig reduserer jordarbeidingsintensiteten. Vi beskriver dagens kunnskapsstatus, hva gjelder positive sammenhenger og utfordringer og vi peker på viktige forskningsbehov framover. Rapporten er basert på litteraturgjennomgang og ekspertvurderinger. Rapporten har blitt skrevet som en del av prosjektet «Agronomi som forbedrer jordhelsen på kornareal» finansert av forskningsmidlene for jordbruk og matindustri (FFL/JA).

2 Planter og planterester som ressurs

Av Till Seehusen og Trond Maukon Henriksen

Det ligger et stort potensial i tilbakeføring av planterester, men det er en del praktiske utfordringer knyttet til dette.

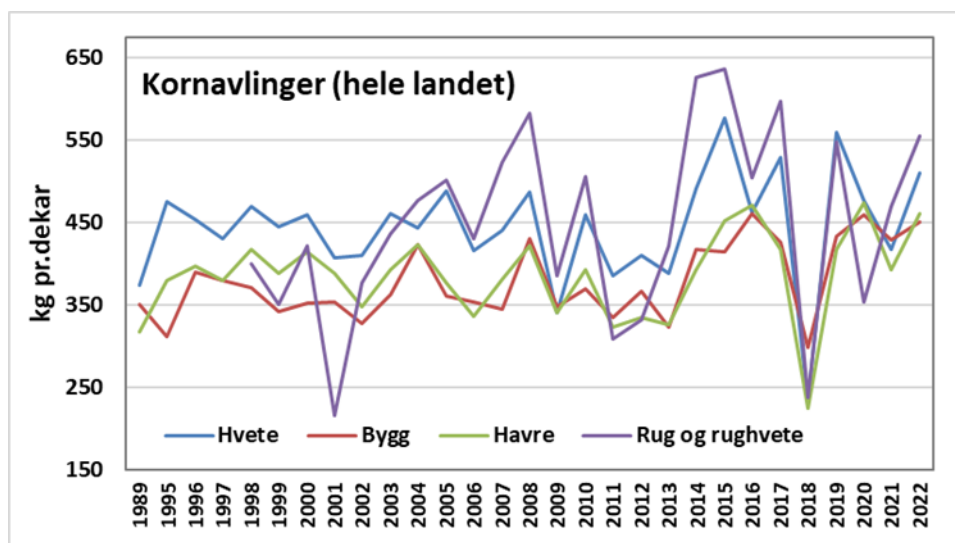
2.1 Halmen

I Norge brukes halmen tradisjonelt til strø, som fôr og til produksjon av biovarme, mens resten beholdes på jordet og innarbeides. Tidligere ble halmen oftest sett på som et problem og gjerne brent utpå jordet før jordarbeiding. Denne praksisen har imidlertid negative miljøeffekter (Cao mfl., 2008) som klimagassutslipp (Andreae, 1991) og tap av organisk materiale (Riley mfl., 2012) og ansees derfor som en sløsing med ressurser (Cao mfl., 2008). Halmbrenning er i dag forbudt mange steder i Norge og vil derfor ikke bli behandlet seinere i rapporten. Her ser vi på fordeler og ulemper ved å bruke halm (det høstbare strået mellom stubben og kornakset) aktivt for å bedre jordhelsen på kornareal som ellers mottar lite organisk materiale.

Mengde halm som er tilgjengelig for ulike formål kan beregnes basert på kornavlingene og stubbhøyde, da det vanligvis er nokså faste forhold mellom de ulike plantedelene (rot, strå og aks) for de enkelte kornarter.

2.1.1 Utvikling av avlinger og halmmengder

Uviklingen av avlingsnivået for korn i Norge er vist i figur 1 (ssb.no).



Figur 1: Kornavlingene (hele landet) for perioden 1989-2022 (Kilde ssb.no.)

Ved å gruppere avlingene for årene før 2001, fra 2001- 2009 og årene 2010- 2022 så ser man at avlingsøkning i den siste 12 års perioden etter 2009 har vært 3 % for havre, 5 % for hvete og 9 % for bygg (eller hhv. 12, 21 og 31 kg/daa (tabell 1)), med en del variasjon mellom år (standard avvik i tabell 1).

Tabell 1: Avlingsutvikling (vår og høsthvete samlet) i kg/daa, og prosent avvik fra perioden 2001-2009 (ssb.no)

Middeltall	Hvete	Bygg	Havre	Rug/roughvete
1989-2000	444	357	385	390
2001-2009	433	367	379	437
2010-2022	454	398	391	469
St.avvik	Hvete	Bygg	Havre	Rug/roughvete
1989-2000	34	26	34	36
2001-2009	46	35	32	106
2010-2022	90	54	73	129
Relative tall	Hvete	Bygg	Havre	Rug/roughvete
1989-2000	103	97	102	89
2001-2009	100	100	100	100
2010-2022	105	109	103	107

2.1.2 Halmmengder tilgjengelig



Bilde 1: Halm på jordet etter tresking i Østre Toten (Bilde: T. Seehusen)

2.1.3 Beregning av halmmengde ut fra avlingstall

Riley mfl. (2012) har tidligere gjort et svært omfattende arbeid med å beregne mengde halm for de ulike kornartene i Norge ved et gitt avlingsnivå og siden avlingene ikke har økt markant de siste år

(Tabell 1) er nok disse beregningene fortsatt representative for dagens sorter. Beregningene til Riley mfl. (2012) gjengis derfor nedenfor.

Forsøk i perioden 2008- 2010 viste at forholdet mellom halm og korn var noe lavere for bygg (ca. 0,6) og havre (ca. 0,8) enn for hvete (ca. 1) (alle uten stråforkorting), med en stor variasjon mellom ulike distrikt. For høstkorn var forholdet rundt 0,5, med noe variasjon mellom sortene.

Mengden av halmtørrestoff i disse forsøkene var fra ca. 265 kg/daa for bygg, 330 kg/daa for havre og 350 kg/daa for hvete ved dyrking med normale gjødselmengder og uten stråforkorting. Dette passer godt med mengder halm (bygg og hvete) som oppgis fra Danmark (300 kg/daa) (Belbo, 2011). Norske forsøk med høstkorn viste at halmmengdene var minst for høsthvete (ca. 200 kg/daa) og omtrent 50 % mer hos rug og rughvete.

Stråforkorting reduserer strå lengden med i gjennomsnitt 3-5 cm og dette tilsvarer en nedgang i halmmengde på 15-30 kg/daa i bygg og havre og en nedgang på 55 kg/daa i vårhvete. Forholdstallet mellom halm og korn blir da redusert minst i tidlig bygg (-0,07), noe mer i seint bygg og havre (-0,12) og mest i hvete (-0,18).

Med foredling av nye sorter har en større andel av produsert tørrestoff havnet i akset, og forholdstallet halm/korn har derfor sunket noe. Som tommelfingerregel kan følgende forholdstall mellom halm- og kornavling brukes: 0,6 for 6-radsbygg, 0,7 for 2-radsbygg, 0,8 for havre, 0,9 for vårhvete og 0,6 for høsthvete og rug (Riley mfl., 2012), noe som passer sammen med svenske beregninger (Belbo, 2011).

2.1.4 Effekt av stubbhøyde

I praksis vil stubbhøyden variere ved tresking og det kan være ønskelig å øke treskerens kapasitet ved å øke stubbhøyden og dermed redusere mengden halm som går gjennom treskeverket. Ved bruk av 10 cm stubbhøyde høstes ca. 75- 80 % av det totale tørrestoffet i korn-strået. Denne andelen reduseres med ca. 20 % for hver 10 cm økning i stubbhøyde (Riley mfl., 2012). En overgang til en høyere stubbhøyde fører derfor til en reduksjon i halmmengde som kan fjernes fra jorden.

Med et samlet kornareal på 3,2 mill. dekar er samlet maksimal halmproduksjon i dag er på ca. 735 tusen tonn tørrestoff pr. år (= 220 kg/daa) uten bruk av stråforkorting og med lavest praktisk gjennomførbare stubbehøyde (10 cm). Ved bruk av stråforkorting synker mengden til ca. 640 tusen tonn, og ved bruk av en mer vanlig stubbehøyde (20 cm) i tillegg, reduseres halmmengden ytterligere til ca. 480 tusen tonn tørrestoff (= 150 kg/daa) (Riley mfl., 2012).

2.1.5 Bruk av halmen

2.1.5.1 Husdyrhold:

En detaljert oversikt over bruk av halm til fôr og strø i norsk husdyrproduksjon ble gitt av (Riley mfl., 2012). Det totale behovet ble den gangen estimert til ca. 97 tusen tonn tørrestoff, fordelt på 32 % til fôr og 68 % til strø.

Ammekyr: I studien ble det anslått et årlig halmforbruk per ammeku (inkludert 1,5 ungdyr) på rundt 2800 kg halm per år og med et estimert antall på 17000 ammekyr ble det anslått et årlig behov på rundt 47600 t til ammekyr (Riley mfl., 2012). Antall ammekyr har økt med nesten 70 % i tidsrommet 2013- 2022 (ssb.no) og forutsatt uendret halmbehov per dyr vil halmmengden som årlig blir brukt til ammekyr ha økt til 81000 t i dag.

Mjølkekyr: Det brukes lite halm til melkeku (Riley mfl., 2012), men i områder med mye halm brukes det noe halm til kalver og okser. Tidligere ble det antatt et årlig behov på rundt 1500 kg per mjølkeku, noe som i 2010 utgjorde 6000 t til melkeproduksjon (inkludert andre storfe). Gjennom de siste årene (2013 – 2022) har vi hatt en 12 % nedgang i antall mjølkekyr (ssb.no), som antagelig har ført til en reduksjon i bruk av halm til melkekyr ned mot ca 5000 t årlig.

Gris: Det brukes noe halm i griseproduksjon, hovedsakelig til avlsvin, både til talle og som rotemateriale. Antall avlsvin har blitt redusert med 26 % i tidsrommet 2013- 2022 (ssb.no). Antatt samme andel dyr på talle (40 % av totalen) og uendret behov per dyr (800 kg/dyr og år) har mengden halm som brukes i produksjonen av avlsvin blitt redusert fra rundt 13200 t til 9800 t i 2016. I tillegg trengs cirka 1000 t halm til grising (Riley mfl., 2012) slik at det totale behovet ligger på rundt 29000 t.

Sau: Det anslåes at halmbehovet til talle og vinterfôr til sau er ca. 8400 t per år (Riley mfl. 2012). Antall sau har blitt redusert med 10 % siden 2013 (ssb.no) som fører til et 840 t redusert behov. Behovet til sau er derfor antatt å være rundt 7560 t per år i dag.

I tillegg brukes det også en del halm til hest og geit, men mengden halm som brukes i sammenheng med disse dyrene påvirker i liten grad det totale halmbehovet i dyreproduksjon.

Tallene beskrevet ovenfor viser at det har skjedd en viss omfordeling og samlet sett antas det at det totale halmbehovet til fôr, strø og talle til husdyr ligger rundt 123000 t årlig i dag, ca 7 % høyere enn de 114450 t per år som ble anslått av Riley mfl. i 2012.

2.1.5.2 Halmfyring

Tidligere var det stor interesse i bruk av halm til varmeproduksjon, og det har vært et mål å øke produksjon av bioenergi innen 2020 (Riley mfl. 2012), men vi går likevel ut fra at mengden halm som brukes til å produsere biovarme ikke har økt i de siste årene.

Sammenliknet med annen type brensel (som ved, flis eller trepellets) inneholder halmen mer aske, klor og alkalimetaller og har vesentlig lavere energiinnhold (ca. 4,7 MWH per t halm tørrstoff, 18 % fuktighet) (Belbo, 2011). En tidligere undersøkelse viser at kun er 7,5 % av alle biovarmeanlegg er rene halmfyringsanlegg mens ytterlige 11,5 % kan brukes med ulike typer brensel (Fløystad, 2013).

I sammenheng med økte strømpriser og ønske om mer fornybar energi, kan det likevel være at interessen for bruk av halm til bioenergiformål øker.

2.1.6 Næringsinnhold i halmen

Økende pris på mineralgjødsel gjør at det ligger et potensial i å utnytte planterestene bedre enn det gjøres i dag og tilbakeføring av halm kan bidra til å øke næringsinnholdet i jorda (Liu mfl., 2014). Tidligere norske studier viser at halmen inneholder ca. 0,7- 1,5 kg N/daa avhengig av kornslag (minst i tidlig bygg, mest i vårhvete), rundt 0,2- 0,3 kg P/ daa og mellom 2-3 kg K/daa (bygg) og 5 kg/daa (havre). På landsbasis blir dette 3400 t N (8 % av det som blir tilført som mineralgjødsel), 700 kg P (13 %) og 11400 t K (63 %) (Riley mfl., 2012).



Bilde 2: Jordoverflaten etter direktesåing av høstkorn i stubben (Bilde: T. Seehusen)

2.1.7 Fjerne eller beholde halmen

I praksis finnes det gode argumenter både for å fjerne og å beholde halmen, og dette varierer ofte fra år til år. Fjerning av halmen kan være tidkrevende, spesielt dersom det konkurrerer med andre oppgaver på gården (f.eks. jordarbeiding). Pressing og bortkjøring av halm betyr ekstra arbeidsoperasjoner som kan føre til skader på jordstrukturen dersom det gjøres når jorda ikke er lagelig. I tillegg må jo kostnader for pressing og bortkjøring av halmen trekkes fra inntekter ved salg av halm til fôr eller brensel.

2.1.8 C:N forhold og nedbryting

For å unngå problemer knyttet til det å beholde halmen på jordet, er det viktig med en god nedbryting av den. Studier viser at nedbryting av halmen går nokså sakte. Etter 4-5 år med nedbryting var fortsatt ca 20 % av halmen igjen i jorda (Liu mfl., 2014), men det avhenger av innarbeidingsmetoden. Nedbrytningshastigheten påvirkes av halmens kvalitet, temperatur- og fuktighetsforholdene og av hvor tilgjengelig den er for nedbryterne. C/N-forholdet beskriver forholdet mellom karbon (C) og nitrogen (N) i planterestene. Halm inneholder bare 0,5 % N og har derfor et C/N forhold på rundt 100:1. Studier viser at halmen nedbrytes raskere jo nærmere bakken den blir liggende (Havstad et al, 2008) og at den helst bør innarbeides i jorda for å få til en rask nedbryting (Seehusen & Henriksen, 2020, Seehusen, 2019). Nedbrytning av halmrester fører til et forbruk av nitrogen i systemet, og i noen studier er det vist at tilførsel av nitrogen øker nedbrytningshastigheten (Henriksen og Breland 1999). Det er også mulig at nedbryting av halm går raskere om den blir liggende i en grønn og relativt nitrogenrik underkultur. Studier har vist at nedbryting av kornhalm går fortere i stubb av timotei enn i stubb av korn (Havstad mfl., 2008).

2.1.9 Avlingseffekter av å beholde halmen

Det er rapportert en positiv korrelasjon mellom karbontilførsel og avlingsnivå (Liu mfl., 2014) og i et omfattende litteraturstudium av langvarige forsøk med halmtilførsel fant (Bolinder mfl., 2020) en avlingsøkning på 6- 12 % dersom halmen ble beholdt på jordet. Norske forsøk er mindre entydige og

viser liten effekt av halm på avlingene. I kortvarige forsøk kan halmen gi en viss avlingsnedgang om det ikke gjødsles, mens det ikke er registrert nevneverdig endring i lengre forsøksrader (Uhlen, 1973). Heller ikke Wølner mfl. (1978) fant at behandling av halmen påvirket avlingene systematisk.

Dersom det ikke pløyes, kan likevel halm på jordoverflaten hemme planteetablering fysisk og kjemisk og medføre lavere jordtemperatur (Riley mfl., 2005, Børresen, 1999, Harper, 1985). Tidligere norske forsøk har gitt opp til 15 % avlingsreduksjon ved direktesåing når halmen ble beholdt på jordet (Riley mfl., 2012). Forsøk med mer moderne direktesåmaskiner viser imidlertid at en kan oppnå gode avlinger også ved direktesåing i halmrestene (Seehusen upublisert).



Bilde 3: Planterestene etter fangvekst holder åkeren dekket gjennom vinteren (Bilde: E. Villadsen)

Planterester på overflaten (Bilde 2+3) fungerer generelt som et isolerende dekke. Det gir en lavere fordampning fra jorda og fuktighet blir lagret både i biomassen og i jorda (Rasmussen, 1999, Crutchfield, 2016). Dette kan gi høyere jordtemperatur gjennom vinteren, men forsinker oppvarming og opptørking om våren og fører til utsatt såtid (Hoorman & Sundermeier, 2017, Riley mfl., 2005, Riley, 2016). Jordarbeiding under forhold med høyt vanninnhold i jorda kan også gi vedvarende jordpakkingsproblem (Seehusen mfl., 2014, Riley, 2016). Omvendt, så kan planterester på jordoverflaten føre til at jordfuktigheten bevares under tørre forhold (Chen mfl., 2007), forbedre jordstrukturen og gi økt innhold av organisk materiale som igjen fører til bedre jordfruktbarhet og økte avlinger på sikt (Liu mfl., 2014).

2.2 Fangvekst



Bilde 4: Fangvekst i kornåkeren etter tresking (Bilde: T. Seehusen)

2.2.1 Dyrkingsomfang

Fangvekster ble først tatt i bruk på 1990-tallet som et miljøltiltak for å hindre tap av nitrogen og fosfor fra åkerjord til vassdrag. I dag brukes fangvekster også for å øke jordas karboninnhold, løsne pakket jord, bidra til biodiversitet og øke jordfruktbarheten. Arealet med fangvekster har økt betydelig i det siste. I Norge ble det i 2022 dyrket 17709 daa med fangvekster sådd etter høsting* og 110827 daa ble sådd som underkultur om våren**, noe som tilsvarer en økning på henholdsvis 38 % og 46 % sammenliknet med året før 2021 (Landbruksdirektoratet). Bruk av fangvekster er et av de viktigste tiltakene for vannmiljøet som gjennomføres i Norge. Det dyrkes mest fangvekst i de store kornområdene langs Oslofjorden og i Innlandet (Landbruksdirektoratet). Dette skyldes nok både at regelverket som skal føre til redusert erosjon og avrenning er strengest rundt Oslofjorden (Engelhart-Bergsjø mfl. 2022), og at sesongen for dyrking av fangvekst etter tresking er lang i dette området.

*Fangvekster sådd etter høsting = fangvekst i grønnsaker/radkulturer (sådd etter høsting)

**Fangvekster som underkultur = fangvekst i voksende korn uansett tidspunkt for innsåing av fangvekst

2.2.2 Dyrkingsstrategier

Tidligere ble det hovedsakelig brukt raigras som fangvekst, men i de siste årene er det introdusert og tatt i bruk flere nye arter og ulike fangvekstblandinger - dels med belgvekster og dels med ulike brassica-arter (Frøseth & Seehusen, 2023). Vanligvis etableres fangvekstene som undersådd i kornet om våren (Bilde 4) eller ved såing like før høsting (Bøe mfl., 2019). Fangvekster av flerårige arter, som raigras og hvitkløver, såes vanligvis sammen med kornet, mens de ettårige artene såes i modent korn eller etter høsting av tidlige kornsorter, der klimaet tillater dette. Ved såing av fangvekster etter tresking om høsten unngås problemer med samdyrking og dette er aktuelt der en kan utnytte gode vekstforhold fra ettersommeren og utover høsten (Seehusen mfl. 2022).



Bilde 5: Frøblanding som kombinerer fangvekstenes økosystemtjenester (Bilde: T. Seehusen)

2.2.3 Fangvekstenes økosystemtjenester

Fangvekster leverer viktige økosystemtjenester, som å stabilisere jorda, redusere vannhastigheten og øke infiltrasjonen (Blanco- Canqui mfl., 2015, Löfkvist, 2005) og dermed bidra til å redusere erosjon og jordtap . Videre kan fangvekster, særlig slike med et kraftig rotsystem, som luserne, oljereddik og sikori ha en jordlønende effekt og bidra rent fysisk til en bedre jordstruktur. Fangvekster binder karbon gjennom fotosyntesen og ved å tilføre denne biomassen til jorda økes innholdet av organisk materiale. Økt tilførsel av organisk materiale til jorda gir økt mikrobiell aktivitet (Bøe mfl., 2019).

2.2.4 Fangvekstenes effekt på avlingen

Avlingseffekten av fangvekster første året avhenger av såtiden. Sådd ved tresking vil ikke fangvekstene påvirke kornavlingen. Når fangvekstene såes om våren sammen med kornet viser tidligere norske kortvarige forsøk, først og fremst med raigras, ofte en negativ avlingseffekt av samdyrkingen (Molteberg mfl., 2004). Årsakene ligger i konkurranseforholdet mellom kornplantene og fangvekstene. I hvilken grad fangvekstene påvirker avlingene avhenger derfor av i hvilken grad fangveksten etablerer seg (Seehusen mfl., 2023, Seehusen, 2022). I langvarige forsøk (Bolinder mfl., 2020) kan en finne en positiv avlingseffekt av fangvekster. Mer detaljert beskrivelse av avlingseffekten av ulike fangvekster i korn er beskrevet i (Bøe mfl., 2019).

3 Jordarbeidingsystemer

Av Till Seehusen og Trond Maukon Henriksen

Jordarbeidingen er et viktig agronomiske tiltak og viktig for å innarbeide planterester, bekjempe ugras, lage et godt såbed og dermed legge til rette for gode vekstvilkår og høye avlinger av god kvalitet (Håkansson mfl., 1998). Samtidig er jordarbeiding, særlig pløying, svært ressurskrevende, og redusert jordarbeidingsintensitet reduserer både arbeidstid og drivstofforbruk (Kowalewsky, 2009, Filipović mfl., 2004, Riley, 2016). Dette kan øke effektiviteten, redusere kostnadene for bonden og samtidig minimere miljøavtrykket i matproduksjonen (Figur 2). Videre kan redusert jordarbeiding over tid forbedre jordstruktur og jordstabilitet (Horn, 2003) og dermed føre til forbedret infiltrasjon og redusert følsomhet mot pakking (Seehusen mfl., 2014).

3.1 Utbredelse av ulike jordarbeidingsmetoder

I korndyrkingen har jordarbeidspraksis forandret seg mye gjennom de siste tiårene. Før 1990 var høstpløying dominerende. I dag varierer arealene som høstpløyes fra år til år og region til region og er også avhengig av andelen høstkorn som dyrkes de enkelte årene. Det totale omfanget av høstpløying har blitt redusert fra 2,9 mill daa i 1991/1992 til 1,6 mill daa i 2021/2022 (Stabbetorp, 2023). Mellom 2013 og 2019 var det noen sesonger med fuktige forhold om våren og forsinket våronn på arealene som ikke ble pløyd. I den perioden gikk derfor en del gårdbrukere tilbake til høstpløying, men utvikling på maskin- og redskapssida (avsnitt 3.3) virker til å ha stoppet denne trenden (Stabbetorp, 2023).

Til tross for at (lett-) høstharving både reduserer erosjonsrisiko sammenliknet med pløying og er en effektiv metode for å innarbeide halmrester og tilrettelegge for våronna (Seehusen & Henriksen, 2020) har denne praktisen blitt betydelig redusert og er nesten borte i dag, mest på grunn av endrete tilskuddsordninger (Stabbetorp, 2023).

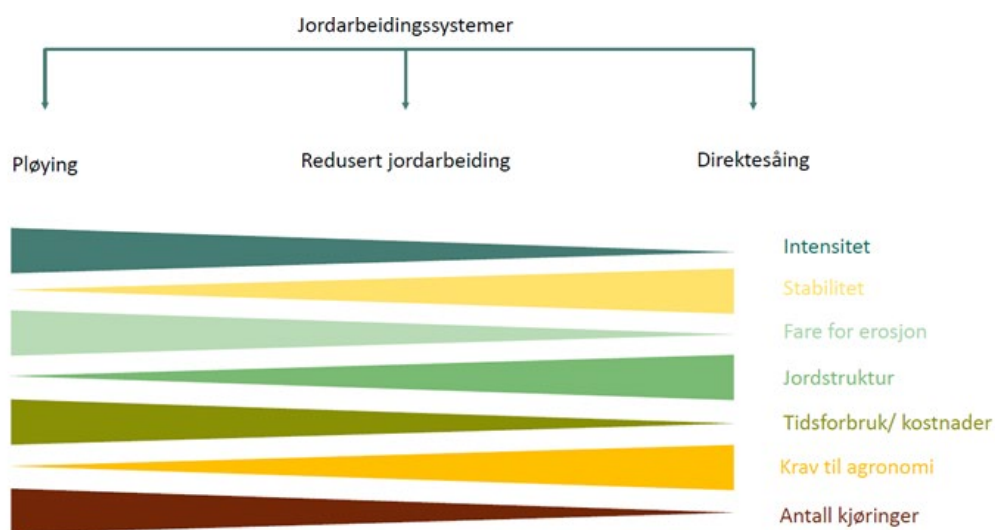
Den totale andelen av åkerarealet som ikke jordarbeides om høsten økte betydelig fram til begynnelsen av 2000-tallet og hadde sitt største omfang i 2011 (1,7 mill daa) da mer enn halvparten av det totale kornarealet ikke ble bearbeidet (Landbruksdirektoratet). Siden da har arealet uten høstbearbeiding blitt noe redusert (2021, 1,15 mill daa, 39 % av total arealet) med største andelen i Oslo/Viken. Variasjonen skyldes lokale værforhold, endringer i tilskuddsordninger og arealet med fangvekst som medfører at det ikke kan jordarbeides om høsten (Stabbetorp, 2023).

Det gis tilskudd til høstkorndyrking uten pløying og i 2021 ble det gitt tilskudd til 55000 dekar høstkorn uten pløying (Stabbetorp, 2023). Større fokus på effektivitet og lønnsomhet, samt omfattende utvikling på maskinsida, kan føre til at andelen direktesåing i høstkorn øker i framtida.



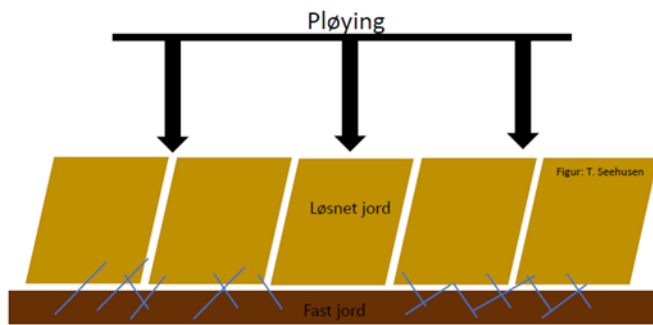
Bilde 6: Redskap til redusert jordarbeiding (Bilde: T. Seehusen)

3.2 Typer jordarbeiding



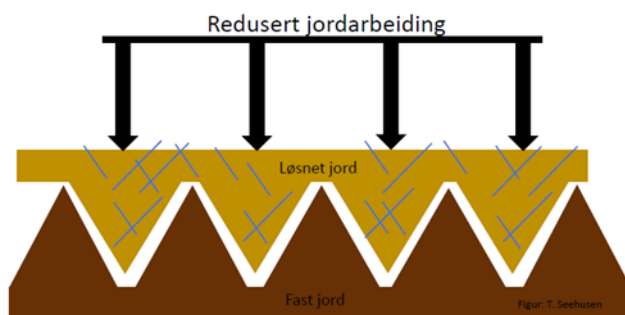
Figur 2: Effekt av ulike jordarbeidingsmetoder på utvalgte økonomiske, agronomiske og økologiske parameter (Figur: T. Seehusen, forandret etter Eichhorn 1999)

Pløying er basert på full gjennomskjæring med 12- 25 cm arbeidsdybde. Pløying er derfor et intensivt inngrep i jorda og både energi- og arbeidskrevende (Filipović mfl., 2004) (Fig. 2). Pløying fører til en forholdsvis grov struktur, der jorda ofte løsnes mer enn nødvendig, som fører til nedsatt stabilitet, risiko for jordpakking og spordannelse ved påfølgende arbeidsoperasjoner (Horn mfl., 2007). Pløying kan føre til dannelse av en plogsåle både på grunn av traktorhjulene i fåra, men også redskapene. Plogsålen kan hemme vanninfiltrasjon og rotvekst (Unger mfl., 1988). Pløying er effektiv til å bekjempe ugras og begrave planterestene (Bilde 7) (Seehusen, 2019, Seehusen mfl., 2016a), men planterestene blandes lite inn i jorda, noe som kan forsinke nedbrytingen (Seehusen & Henriksen, 2020) (Fig. 3). For et fullstendig såbed kreves det ytterligere arbeidsoperasjoner som harving og/ eller slodding.



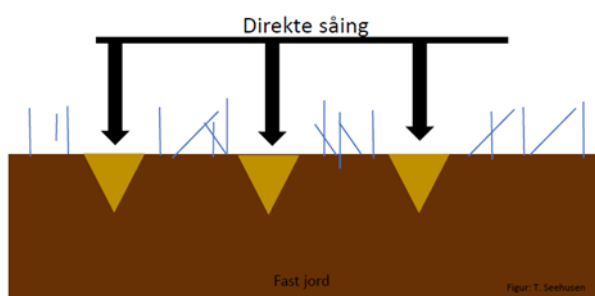
Figur 3: Effekten av pløying (Figur: T. Seehusen)

Redusert jordarbeiding er basert på at jorda ikke veltes og at planterestene beholdes på eller nær overflaten (Fig. 4 + 7). Dette vil i de fleste tilfellene være et mindre intensivt inngrep i jorda og gir økt maskineffektivitet (Saraukis mfl., 2012) (Fig. 2). Langvarig redusert jordarbeiding kan gi fordeler i form av bl.a. økt aggregatstabilitet, større robusthet mot jordpakking, bedre porekontinuitet og tilsvarende bedre infiltrasjon, samt økt andel organisk material i overflatesjiktet (Wiermann & Horn, 2000, Børresen, 1999). Hovedutfordringen med redusert jordarbeiding er ofte både ugras, plantesykdommer og planterester på overflaten, noe som kan ha negative avlingseffekter (Seehusen mfl., 2016a, Riley & Lindemark, 2009).



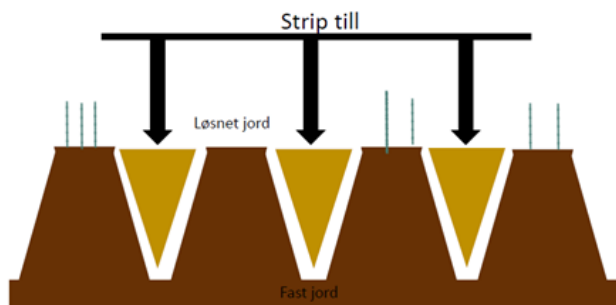
Figur 4: Effekten av redusert jordarbeiding (Figur: T. Seehusen)

Direktesåing gjøres uten forutgående jordarbeiding og kornet såes direkte i stubben. Slik beholdes planterestene og stubben på overflaten (Fig. 5 + 7), noe som reduserer risikoen for erosjon, men det fører til utsatt nedbryting av planterestene (Seehusen, 2019, Seehusen & Henriksen, 2020). Direktesåing er basert på bare en arbeidsoperasjon, noe som reduserer både kostnader og antall kjøringene på jorda (Fig. 2).



Figur 5: Effekten av direktesåing (Figur: T. Seehusen)

Strip-till er en kombinasjon av redusert jordarbeiding og direktesåing, og er basert på at kun en stripe (der såkornet skal legges) bearbeides. På den måten kan halmen innarbeides noe i såbedet mens resten av jorda ligger uforstyrret og halmen og halmstubben beholdes (Fig. 6 + 7). Strip-till er basert på at alle arbeidsoperasjoner gjennomføres under ett. Strip-till er per i dag lite utbredt i Norge, men pågående forsøk indikerer at metoden er lovende.



Figur 6: Effekten av strip till (Figur: T. Seehusen)



Bilde 7: Type jordarbeiding påvirker både overflatestrukturen og mengde planterester på jordoverflaten (Bilde T. Seehusen)

3.3 Utvikling av maskinene

Det har skjedd en betydelig utvikling innenfor maskinteknologi de siste årene. Traktorene har blitt større og yter større trekraft som kan benyttes for å øke arbeidsbredden og/eller kombinere ulike arbeidsoperasjoner. Dette kan øke effektiviteten, bidra til å utnytte lagelige forhold bedre og samtidig redusere antall overkjøringer. For eksempel kan en nå gjennomføre direktesåing og strip-till i kun en overkjøring (Bilde 8), noe som øker effektiviteten og reduserer arbeidstidsbehovet betydelig. Spesielt innenfor minimal jordarbeidingen har redskapene blitt videre utviklet og det finnes et mye større

utvalg av både redskaps- og verktøystyper i dag enn for bare ti år siden. Dette gir flere kombinasjonsmuligheter, større fleksibilitet og bedre mulighet til å tilpasse valg av redskaper til de lokale og sesongmessige forholdene. Videreutvikling av både skåler og tunder gjør det mulig med en grunn jordarbeiding med stor hastighet og samtidig håndtere store mengder planterester (Tastowe, 2023). Moderne såmaskiner har blitt videreutviklet slik at problem med såing i stubb har blitt redusert (Seehusen mfl., 2023, Tastowe, 2023). Videre har det kommet en rekke effektive elektroniske hjelpemidler innfor arealkartlegging og maskinstyring, men også for innstillingen av redskapene, noe som letter både bruk av traktoren og redskapene, øker effektiviteten og arbeidskvaliteten.



Bilde 8: Moderne redskap for strip-till (til venstre) og direktesåing (til høyre) (Bilde: T. Seehusen)

3.4 Utvalg av maskiner

Særlig innenfor minimal jordarbeiding finnes det mange forskjellige redskapstyper å velge mellom. I praksis finnes det altså ikke bare en type 'reduisert jordarbeiding'. Arbeidskvaliteten vil være avhengig av redskapstype, utforming av tindene, innstilling, arbeidsdybde og ikke minst kjørehastigheten (Seehusen, 2004). I praksis varierer resultatene betydelig og det er viktig at valg av jordarbeidingstype tilpasses de lokale forholdene.

3.5 Avlingseffekter av redusert jordarbeiding

Forsøk i Norge viser at avlingseffekten av redusert jordarbeidingen er avhengig av jordtype. Mens en på moreneletteire på Østlandet kan oppnå like gode avlinger ved plogfri jordarbeiding som ved pløying (Riley, 2014, Seehusen mfl., 2016a, Seehusen mfl., 2023) fører redusert jordarbeiding på leir- og siltjord til avlingstap, mest sannsynlig på grunn av dårlig luftutveksling. Dette gjelder spesielt når det er mye halm på jordoverflaten (Riley, 1983, Seehusen mfl., 2016a). Redusert jordarbeiding har også gitt dårlige resultater ved tidlig såing på siltjord. Kanskje mest på grunn av drukning av plantene i tett jord (Riley, 1983). Det er i tidligere studier også rapportert om et samspill med halmen (avsnitt 2.1) som kan forstyrre såing og spiring ved direktesåing på leirjord men kan ved redusert jordarbeiding på tørkesvak, lett jord hjelpe til å holde fuktigheten i såbedet (Riley mfl., 2009).

Tradisjonelt har anbefalingen derfor vært å velge redusert jordarbeiding på lette og veldrenert jord og pløying (høst eller vår) på tyngre og dårlig drenert jord (Børresen mfl., 1990). Videre viser forsøk også at effekten av tiden for pløying varierer mellom jodtypene. Vårpløying var like vellykket som høstpløying på moreneletteire (Riley mfl., 2005, Seehusen, 2019) mens vårpløying ofte var mindre vellykket enn høstpløying på stiv leire (Riley mfl., 2009).

Effekten av jordarbeidingsstrategi varierer med værforholdene de enkelte år. Redusert jordarbeiding gir ofte fordeler under tørre forhold mens pløying kan være fordelaktig i våte somre (Riley mfl., 2009, Seehusen, 2019). En av forutsetningene for å lykkes med plogfri jordarbeiding er at en får til en jevn spredning og god innarbeiding av halmen og får kontroll på ugraset.

Tidligere forsøk viser at en reduksjon av jordarbeidingsintensiteten fører til en høyere forekomst av (flerårig) ugras (Ekeberg mfl., 1985, Seehusen mfl., 2016a, Tørresen mfl., 2003). Ugras kan være hovedårsaken til et avlingstap på 80-120 kg/daa som en observerte etter redusert jordarbeiding i danske forsøk (Petersen mfl., 2010). Økt behov for sprøyting kan derfor redusere de økonomiske og miljømessige gevinstene assosiert med redusert jordarbeiding.

4 Jordeffekeer

Av Till Seehusen og Trond Maukon Henriksen

Jorda er både vokseplass for plantene og kjørebane for landbruksmaskiner. Jordstrukturen har viktige oppgaver innenfor transport av vann og næring, som er sentrale for jordas funksjon innenfor økosystemene. Generelt er tilbakeføring av planterestene ansett som god agronomi fordi det stimulerer mikrobiobiell aktivitet, øker jordfruktbarhet og aggregatstabilitet (Tejada mfl., 2009).

4.1 Behov for bedre jordstruktur

Klimaendringene vil føre til mer ustabile værforhold og endringer i nedbørsmønster (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Under fuktige forhold vil behovet for både infiltrasjon og jordstabilitet øke for å ta unna store nedbørsmengder og minimere risiko for pakking under kjøring på feltet. Gode forhold for plantevekst krever et sammenhengende poresystem som gir tilstrekkelig høy infiltrasjonsevne gjennom jordprofilen og dette kan en oppnå ved minimal jordarbeiding.



Bilde 9: God jordstruktur (Bilde: T. Seehusen)

Klimaendringene kommer også til å medføre en risiko for (forsommer) tørke (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Under slike forhold er det behov for en jordstruktur som gir god vann- og næringstilgang i hele jordprofilen for å sikre plantenes vannforsyning (Bilde 9). På den måten vil bedre jordstruktur øke robustheten mot klimaendringer og er derfor en viktig tilpasningsstrategi (Gollner mfl., 2020).

4.2 Planterester og jordstabilitet

Utenlandske studier viser at planterester på jordoverflaten kan ha en beskyttende effekt og dempe den komprimerende virkningen av overkjøring sammenlignet med udekket jord, hvor trykket overføres direkte til jordoverflaten, spesielt på leirjord (Cherubin mfl., 2021, Holthussen mfl., 2018).



Bilde 10: Halmrester innarbeidet i jordprofilet (Bilde: T. Seehusen)

Dermed kan tilbakeføring av planterestene direkte øke bæreevnen ved å dempe kreftene som virker inn på jorda, bygger større hulrom og armerer jorda (Bilde 10) (Hoorman mfl., 2011, Cherubin mfl., 2021), men også indirekte gjennom økt innhold av organisk materiale, bedre jordstruktur, større stabiliseringseffekt av planterøttene, hyfer og deres sekreter i jorda og bedre aggregering (Obour mfl., 2018, Graf & Frei, 2013, Stokes mfl., 2009).

4.3 Planterester og jordstruktur

Generelt er tilbakeføring av planterestene ansett som god agronomi siden det forbedrer jordstrukturen, stimulerer mikrobiobiell aktivitet, øker jordfruktbarheten, vannlagringskapasiteten og aggregatstabiliteten (Tejada mfl., 2009, Liu mfl., 2014).

I tidligere norske forsøk har en ikke funnet noen direkte effekt av halmbehandling på jordparametre som lagringstetthet, porøsitet eller porestørrelsesfordeling (Børresen, 1999, Seehusen mfl., 2016a) noe som kan i noen tilfeller skyldes en forholdsvis kort forsøksperiode. Generelt sett ansees tilbakeføring og innarbeiding av planterester som effektive virkemidler for å bedre både jordas struktur og stabilitet ved å (a) generelt øke innholdet av organisk materiale, (b) øke aggregatstabiliteten gjennom f.eks. rot eksudater og (c) en stabiliserende effekt av planterøttene selv (Bronick & Lal, 2005, Stokes mfl., 2009, Graf & Frei, 2013, Faucon mfl., 2017). Bedre aggregering er ofte relatert til et høyere porevolum i jorda (Faucon mfl., 2017) som kan øke jordas infiltrasjonsevne og dermed føre til raskere opptørring (Osborne mfl., 2008). Bedre aggregering og armering av jorda med planterøttene kan også øke jorda bæreevne (Stokes mfl., 2009, Graf & Frei, 2013, Faucon mfl., 2017) og dermed redusere fare for jordpakking (Seehusen mfl., 2014).



Bilde 11: Innarbeiding av halmen etter grunn høstharving (Bilde: T. Seehusen)

4.4 Jordstruktur og jordhelse

Jordhelse gjenspeiler jordas evne til å muliggjøre både landbruksproduksjon og andre økosystemtjenester (Kibblewhite mfl., 2007). Ifølge denne definisjonen er jordhelse hovedsakelig basert på fire hovedfunksjoner, (a) muligheter for å lagre og omdanne karbon; (b) lagre og frakte næringsstoffer, (c) vedlikehold og funksjonalitet av jordstrukturen og (d) regulering av sykdommer (Kibblewhite mfl., 2007).

Som nevnt tidligere er jordstruktur er definert som arrangementet av faste partikler og porerom i jorda. Faste partikler, sammensatt av organiske forbindelser og mineralpartikler, klumper seg sammen og danner aggregater. En høy andel aggregater og utpreget kontakt mellom dem (antall korn-korn kontakter) fører til god jordstabilitet. Mellomrommene mellom disse aggregatene er porene. En "godt strukturert jord" har et kontinuerlig nettverk av porer av ulike størrelse som både øker jordas infiltrasjonsevne og vannholdingskapasitet, så vel som luftutveksling og røttenes lufttilgang. God jordstruktur virker derfor på mulighetene for rotvekst og transport av næringsstoffer. Dersom jorda er vannmettet på grunn av innskrenket infiltrasjon og pakkeskader og lufttilgangen er redusert, oppstår det anaerobe forhold som fører til problemer både for planter og jordorganismer (Unger & Kaspar, 1994). Å bygge god jordstruktur tar tid og intensive mekaniske inngrep (pløying) fører til en ødeleggelse av f.eks. porekontinuiteten (Horn mfl., 1995).

Å opprettholde en god jordstruktur med en høy mekanisk stabilitet og god motstandsevne mot klimaeffekter (f.eks. sterk nedbør) og jordpakking er derfor viktig for å opprettholde jordhelsen.



Bilde 12: Direktesåing i store mengder biomasse (Bilde: T. Seehusen)

5 Erosjon

Av Franziska Fischer og Robert Barneveld

5.1 Erosjon –prosesser og trusler

Jorderosjon har negative effekter både på stedet hvor prosessen foregår og utenfor. For jordbruksjord er den viktigste konsekvensen på stedet, åkeren eller beite at jordkvaliteten reduseres. Erosjon av toppsjikt vil blant annet føre til tap av næringsrik jord og minske aggregatstabilitet og evnen til retensjon av vann. Jordtap kan føre til signifikant reduksjon i avling (Bakker mfl., 2004; Bakker mfl., 2007) og dermed ha økonomiske konsekvenser. Episodisk jordtap i perioden mellom såing og spiring og etablering kan resultere i tap av frø og spirer, samt dekking av spirer under sediment. Den viktigste trusselen utenfor jordbruksarealene ved erosjon er påvirkningen som jordpartikler og næringsstoffer har på akvatiske økosystemer. Episodiske flukser med høy turbiditet og fosforkonsentrasjon øker sannsynligheten for algeoppblomstring og er en trussel for den økologiske balansen.

Erosjonsrisiko i Norge klassifiseres i fire kategorier fra liten til svært stor (< 50, 50 – 200, 200 – 800, >800 kg/daa/år) (Kværnø mfl., 2020). I 2020 ble et nytt erosjonsrisikokart basert på en hybrid prosessbasert/empirisk modell, utviklet som erstatning til et USLE-basert kart. Oppdateringen førte til en omfordeling av erosjonsrisikoklasse i de fleste jordbruksfylkene, med en generell nedgang i erosjonsrisikoklasse, med Vestfold og Telemark som unntak. Her økte andelen under erosjonsrisikoklassen fra 18 % til 30 %, mens det var omvendt i resten av landet, særlig i Innlandet (Kværnø & Barneveld, 2020).

Strategier for å redusere jordbrukets negative påvirkning på vannkvalitet består av ulike tiltak som kan eller må gjennomføres. Gjennom Regionalt Miljøprogram (RMP) blir det blant annet gitt støtte til følgende tiltak på kornareal: ingen jordarbeiding om høsten/overvintring i stubb, direktesåing og fangvekster. De fleste tiltak antas å fungere gjennom ulike påvirkninger på erosjonsprosessen gjennom redusert overflateavrenning, partikkelløsrivelse og partikkeltransport.



Bilde 13. Overflateavrenning (Bilde: F. Fischer)

Overflateavrenning (Bilde 13) genereres når nedbørmengden eller/og intensitet overstiger jordas infiltrasjonsevne. Infiltrasjonsevnen er en funksjon av jordstruktur, (makro) porositet og porekonnektivitet. Overflateruhet (mikrotopografi) vil også påvirke overflateavrenning. Med mye ruhet, vil det dannes et lag med stående vann før det begynner å renne utover (Amoah mfl., 2013). Endringer i mikrotopografi og midlertidlig vannlagringsevne over bakken som følge av jordarbeiding og planterester vil derfor også ha betydning for erosjonsrisiko (Chihua mfl., 2002; Thompson mfl., 2010).

Løsrivelse av jordpartikler er en funksjon av overflateavrenningens dybde og hastighet og partiklenes motstandsevne. Jordas evne til å erodere er en kombinasjon av aggregatstabilitet og påvirkes dynamisk av vannmetningsgraden. Både aggregatstabilitet og vannlagringsevne øker ved økt innhold av organisk materiale (Mulumba & Lal, 2008). Løsrivelse av partikler skjer også gjennom mekanisk innvirkning av fallende regndråper som møter bakken. Innvirkningen reduseres betydelig når bakken er dekket av planterester eller vegetasjon (Bilde 2+3+4+11+12) (Prosdocimi mfl., 2016).

Partikkeltransport er neste fase i jordtapsprosessen. Jordoverflatens mikrotopografi er viktig i forholdet mellom avrenningshastighet og -mengde og sedimentkonsentrasjonen i overflatevann (Nouwakpo mfl., 2021). Overflateruhet som er romlig uniform vil diffundere energien raskt og jevnlig og redusere transportkapasiteten. Orientert ruhet, etter for eksempel pløying, vil derimot tilrettelegge for overflateavrenning og dens konsentrasjon (Da Rocha Junior mfl., 2016).

5.2 Fangvekster og jordarbeiding som reduserer erosjonsrisiko

Erosjonsrisiko reduseres med økt vegetasjon eller dekke av planterester (for eksempel Wischmeier & Smith, 1978; Smets mfl., 2008a). Jord er mest utsatt for erosjon under konvensjonell jordarbeiding (Bilde: 7). I løpet av vekstsesongen vil risikoen gå ned når veksten etableres og vokser. Jo raskere vegetasjonen utvikler seg, jo kortere vil jordas overflate være utsatt for erosjon. Etter vekstsesongen gjelder samme prinsippet; jo lengre jorda dekkes av planterester og/eller stubb, jo mindre er den utsatt for erosjon under våte forhold gjennom høsten og vinteren. Overvintring i stubb er påvist å være en bra metode for å redusere jordtap (Bechmann mfl., 2011; Kværnø & Bechmann, 2010; Lundekvam, 1997; Oskarsen, mfl., 1996; Skaalsveen mfl., 2019; Skøien mfl., 2012). Direktesåing av følgende vinter- eller vårvekst beholder jordens lave erodibilitet (Skaalsveen mfl., 2019; Busch mfl., 2015).

Direktesåing kan imidlertid ha negative konsekvenser for avling (Riley mfl., 2009), og kan øke behovet for bruk av plantevernmidler (Soane mfl., 2012). Likevel kan redusert jordarbeiding beskytte jord mot erosjon. Planterester vil da forbli liggende på jorda etter innhøsting, avhengig av eventuelle jordarbeidingsaktiviteter. Det antas at det er et minimum på 30 % dekningsgrad for at tiltaket skal være effektivt mot erosjon (se for eksempel Carter, 2005; Frielinghaus mfl., 2002). Nevnt prosentandel er en tommelfingerregel, og det er behov for forskning angående effekten. Smets mfl. (2008a, 2008b) viser at forholdet mellom dekningsgrad og -type og erosjonsrisiko er sterkt avhengig av tekstur, hellingsgrad og skalaen som ble brukt i eksperimentene. Ruteforsøk med 50 m lange hellinger viste for eksempel lavere erosjonsverdier enn ruter med samme mengde og type planterester som var 10 m i lange (Smets mfl., 2008b). Likevel er en dekningsgrad på 30 % ofte utfordrende i praksis. I ulike land viser den gjennomsnittlige dekningsgrad seg å være under 30 % (Hoesl & Strauss, 2016; Auerswald mfl., 2018; Haensel mfl., 2013). Seehusen (2019) viser at stubbharving ikke kan etablere en 30 % dekningsgrad. Noen studier viser dessuten at erosjonsrisiko reduseres allerede med 20 % dekning (Smets mfl., 2008b). Overflateruhet, infiltrasjonsevne og aggregatstabilitet kan forventes å øke, uansett dekningsgrad (Box & Bruce, 1996; Jordan mfl., 2010; Shi mfl., 2013).

Fangvekster, som alternativ for utsatt jordarbeiding, har mange fordeler i tillegg til bare de jordfysiske: nitrogenresirkulering (se Kapittel 2.5), biodiversitet, mikrobiologi, og karbonfangst (Bøe mfl., 2019). Fangvekster er inkludert i tilskuddsordninger siden 1999 (Aronsson mfl., 2016). Raigras er en ofte brukt fangvekst i kombinasjon med korn. Tiltaket er effektivt mot erosjon og nitrogentap (Valkama

mfl., 2015), men det kan øke tapet av løst reaktiv fosfor (DRP, Aronsson mfl., 2016; Liu mfl., 2019) og kan føre til en reduksjon i avling (Valkama mfl., 2015). Tapet av DRP påvirkes av jordegenskaper, vær og agronomi og er ofte lavere for andre enn brassica-vekster (Lui mfl., 2019). En studie utført i Sør-Sverige peker imidlertid på at en fangvekstblanding av vintervikke (*Vicia villosa*), raigras eller bokhvete, og raps ikke påvirket DRP-tapet (Norberg & Aronsson, 2019). Fangvekster kan redusere tapet av jord og partikkelbundet fosfor.

5.3 Planterester og nitrogen

Av Franziska Fischer og Marianne Bechmann

Halm gir energi til mikrobiell vekst av karbon, men nitrogen mangler siden C/N-forholdet i halm er langt høyere enn det som kreves av mikroorganismene (Christensen, 1986; Henriksen & Breland, 1999). Derfor bruker mikroorganismene mineralsk nitrogen som er tilgjengelig i jorda. Ved dette bygges N inn i mikrobiell biomasse (immobiliseres) og risikoen for utvasking av N ved avrenning reduseres (Cheshire mfl., 1999). For eksempel konkluderte Christensen (1986) med en immobilisering på 0,9 til 1,1 kg N/daa med 0,5 t halm/daa. Effekten av halm på jordas N-dynamikk er forskjellig når halmen ikke er innarbeidet, men forblir på jordoverflaten. Ulike eksperimenter har vist at halm må infiseres av (hemi-)celluloseforbrukende mikroorganismer, noe som skjer når halm er i nærkontakt med jord (Henriksen & Breland, 2002). Halm som forblir på overflaten brytes langsommere ned (Christensen, 1986) og følgelig er N-immobiliseringshastigheten lavere (Christensen, 1986; Rennie & Heimo, 1984). Uten jordarbeiding blir det ikke mineralisert ekstra N. Effekten av halm på jordas N-dynamikk avhenger også av jordtypen. Sandig lettleire har vist et høyere potensial for N-immobilisering enn grov sand (Christensen, 1985). Under nedbrytningen av halm endres C/N-forholdet (Cheshire mfl., 1999). For C/N-forhold høyere enn 35 kan en forvente N immobilisering (Jensen mfl., 2005). For planterester med C/N-forhold lavere enn 35 kan det forventes en netto frigjøring av N fra planterester (Christensen, 1985).

Dekkvekster er beskrevet med hensyn til deres betydning for å redusere jorderosjon i kapittel 2.4 Erosjon. De kan imidlertid også redusere risikoen for nitrogentap, spesielt i perioden etter høsting av korn frem til følgende vekstsesong. Da fangvekst ble innført i Regionalt miljøprogram i Norge i 1999, ble italiensk raigras oftest brukt som fangvekst. Denne arten kan sås sammen med eller etter såing av vårkorn. Når kornet høstes på sensommeren, vokser raigras og dekker jorda til neste vår. Ulike studier har vist god effekt av italiensk raigras for å binde N i jorden for å unngå at det vaskes ut (Valkama mfl., 2015). En gjennomgang oppsummerte at 0,7 – 3,8 kg N/daa kan bindes i den overjordiske biomassen og dermed beskyttes mot utvasking (Aronsson mfl., 2016). Raigras som såes sammen med kornet kan føre til litt redusert kornavling under ugunstige forhold (Känkänen & Eriksson, 2007; Thomsen & Christensen, 1999). Italiensk raigras er svært konkurransedyktig og kan påvirke veksten av kornet (Bøe mfl., 2019; Jensen mfl., 2021). Det er registrert avlingsreduksjon på opptil 17 % i en oppsummering av Bøe mfl. (2019), mens noen forsøk ikke viste noen nedgang. En kombinasjon av italiensk raigras med timotei (Känkänen & Eriksson, 2007) eller med engsvingel kan være alternativer (Sturite mfl., 2007). Sistnevnte blanding kan gi lavere N-tap fra plantemateriale om vinteren. Frysetime-sykluser kan forårsake utfrysing fra planter som ikke er tilpasset kaldt klima. Nitrat og fosfat kan tapes ved avrenning. Disse tapene er lavere for engsvingel enn for italiensk raigras (Sturite mfl., 2007). Andre fangvekstblandinger kan være f.eks. håret vikke og rug eller bokhvete og oljereddik. I en svensk studie hadde de potensial for å redusere jordas innhold av mineralsk N og de årlige gjennomsnittlige N-konsentrasjonene i avrenning, mens P-tap ikke ble påvirket (Norberg & Aronsson, 2020). Spesielt vintervikke er egnet for kaldt klima på grunn av sin gode frysebestandighet (Brandsæter mfl., 2002) og derfor mindre utsatt for utfrysing. Oljereddik ble også vellykket dyrket i renbestand og reduserte N-tapene betydelig (Norberg & Aronsson, 2020). Likevel, i kaldt klima, er det fare for at vekstperioden er for kort til at oljereddik kan utvikle en tett vegetasjon når de sås etter høsting av kornet (Aronsson mfl., 2016).

Kombinasjonen av raigras og belgvekster, som kløverarter, kan gi økt N-lagring før neste vekstsesong (Hansen & Solberg, 2023). Spesielt kløverarter kan fiksere en betydelig mengde N fra luften (Barbieri mfl., 2023) som kan bli tilgjengelig for følgende vekster. Jensen mfl. (2021) viste at byggavlingene økte med 9 % når det ble brukt en dekkblanding av flerårig raigras og hvitkløver i stedet for ingen dekkvekster. Valkama mfl. (2015) viste i en metaanalyse en gjennomsnittlig økning på 6 % i kornavling og N-innhold i belgvekster og belgvekster blandet med ikke-belgvekster. Mens det for konvensjonelt jordbruk er en måte å øke avlingen eller å spare gjødsel, er denne effekten avgjørende i økologisk landbruk. Også renbestander av kløver har blitt testet som fangvekst for ytterligere å øke N-lagringen i jorda for følgende avling. Men belgvekstene er spesielt utsatt for utfrysing og medfører høy risiko for N- og P-tap (Korsæth mfl., 2002). Nitrogentap fra ren kløver kan til slutt til og med overstige N tap fra felt uten fangvekst (Aronsson mfl., 2016).

Uavhengig av blandingen og om fangveksten blir sådd om våren med kornet eller kort tid før eller etter høsting, er riktig tidspunkt for nedmolding avgjørende for å få maksimal effekt på følgende kornavling. Ulike studier har vist at i vått klima skjedde den beste synkroniseringen av N-mineralisering fra fangvekster med N-opptak av følgende kornavling når fangveksten ble nedmoldet tidlig på våren før vekstsesongens start (Korsæth mfl., 2002; Thorup-Kristensen & Dresbøll, 2010). Et alternativ ville være nedmolding om høsten så sent som mulig (Korsæth mfl., 2002).

Man bør være oppmerksom på at dyrking av fangvekster har mangfoldige positive effekter på jordhelseindikatorer. En av dem er en økning i jordas organiske materiale til et visst likevektsnivå (Schjønning, 1986). Dette betyr at når bruken av fangvekster stopper, reduseres nivået av organisk materiale igjen, og N-tilgjengeligheten blir midlertidig enda høyere enn den har vært før dyrking av fangvekster. N-tapene kan da overstige tapene før fangvekst (Thomsen & Christensen, 1999). Dette må vurderes i gjødslingsplanleggingen.

6 Karbon

Av Alice Budai og Daniel Rasse

Karboninnhold er en nøkkelegenskap ved jord, og har betydning for alle jordas økosystemfunksjoner – inkludert produksjon av biomasse, lagring og sirkulering av vann og næringsstoffer og jordas rolle som habitat. Det nedlegges en betydelig innsats for å overvåke jordkarbon (se Jordovervåkingsprogrammet i NIBIO for dette arbeidet i Norge), noe som gjør det mulig å identifisere jordbrukspraksiser som bidrar til at jordas karboninnhold øker istedenfor å forringes. Både resirkulering av planterester og dyrking av dekkvekster er kjent for å øke innholdet av karbon i jordbruksjord, men omfanget av karbonlagring under norske forhold ved bruk av disse teknikkene og synergier ved samtidig bruk av flere av dem er ikke tallfestet. Jord som er rik på karbon har struktur og evne til å infiltrere vann og holde på næringsstoffer som dekker plantevekstenes behov utover vekstsesongen. Økt plantevekst og økt jordkarbon har et positivt samspill, ettersom plantevekst er den viktigste komponenten i prosessen der karbon lagres i jord, og siden jordkarbon er en nøkkelfaktor for økt jordhelse og -produktivitet (Janzen mfl., 2022).

Netto karbonlagring i naturlige systemer bestemmes av både fotosyntese og nedbrytning, og nedbrytningen av planterester innebærer en “catch-22”-situasjon: i en sunn og biologisk aktiv jord brytes planterester raskere ned enn i et fattig jordsmonn, slik at man får inntrykk av at mindre karbon fra biomassen blir værende igjen etter nedbrytning. Forvaltning av jordbruksjord støter på praktiske utfordringer når det kommer til planterester som ikke fjernes fra åkeren. Restene må brytes ned relativt raskt slik at de ikke medfører ulemper, slik som når de for eksempel danner en barriere som hindrer oppspiring. Dersom forholdene for nedbrytning er tilstede, finnes det gode grunner for å føre planterestene tilbake til jorda. Jordfunksjoner er avhengige av karbonet og mineralene som finnes i disse restene. Nedbrytning er dessuten nødvendig for at stabilisert karbon dannes i jord, ettersom ikke bare planterester, men også mikrobielle rester utgjør en betydelig andel av stabilisert organisk materiale i jord (Angst mfl., 2021). Derfor kan det argumenteres for at man bør fokusere på å fremme fordelaktige forhold for rask nedbrytning av planterester i jord, og samtidig tilføre jorda så mye organisk materiale som mulig.

Rotmasse er viktigere enn biomasse fra skudd når det gjelder å bygge opp innholdet av karbon i jorda. Det er estimert at biomasse fra røtter er mer kjemisk stabilt (2.4 ganger mer stabilt), og denne biomassen har en gunstig fordeling nedover i jordprofilet, noe som fremmer fysisk beskyttelse av forbindelsene fra nedbrutte røtter (Rasse mfl., 2005). Rotmasse fra korn fjernes sjelden fra jord av praktiske grunner, mens halm ofte blir fjernet og brukt til andre formål. Tilleggsverdien av å la halmen bidra til å bygge jordkarbon vil være nyttig å anslå, i lys av at denne bruken av en lokal ressurs kan spare bonden både for arbeid og energi. Andre bruksområder for halm inkluderer for eksempel fôr til kyr. Studier som undersøker bruk av biomasse gjennom ulike trinn har begynt å kvantifisere karbonet som lagres per enhet opprinnelig halmbiomasse. Resultatene antyder at mengden karbon som lagres i jorda ved nedpløying er om lag lik mengden som lagres dersom halmen først gis til dyra og deretter tilbakeføres jorda som gjødsel (Thomsen mfl., 2013). Det virker altså som at energien i halmen kan brukes som fôr, eller potensielt andre prosesser slik som biogassproduksjon, uten at det går utover jordas langsiktige karboninnhold. Dette gjelder så lenge det organiske materialet føres tilbake til jorda (dog i endret tilstand). Ikke engang det å kompostere biomassen er forventet å øke lagringstiden til rester fra halm i jorda i et hundreårsperspektiv (unpublished work, Axel Don).

Den tilsynelatende mangelen på virkning av forbehandling på stabilisering av karbon fra halm i jord kan skyldes at andelen karbon fra halm som stabiliseres i jorda er forholdsvis lav, med et gjennomsnitt på bare 12 % i temperert jord (Bolinder mfl., 1999). Dessuten er ligninmolekyler, som halm inneholder mye av, mye mindre stabile enn man tidligere har trodd - bare 8 % blir værende i jorda uten å brytes ned etter et par år (Rasse mfl., 2006). Disse resultatene er faktisk ikke overraskende, ettersom halm

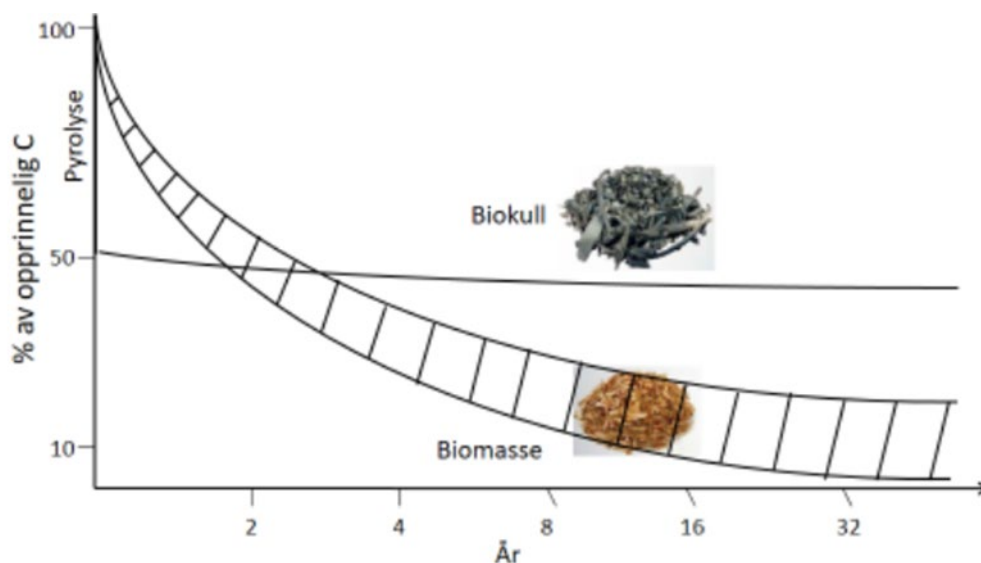
har et høyt C:N-forhold på rundt 50, mens stabilisert organisk materiale i jord har et C:N-forhold på < 15 (Guénet mfl., 2021). Humusdanning leder dermed til mineralisering av det meste av karbonet i halm i form av CO₂, mens det samtidig dannes en liten andel organisk materiale rikt på N.

Det eneste unntaket fra regelen om at danning av en liten andel organisk materiale i jorda fra halm medfører store C-tap, er bruk av pyrolyse for å produsere biokull, som kan lagres i store mengder i jorda i form av et produkt med høyt C:N-forhold (Guenet mfl., 2021) (se boks).

Potensialet for umiddelbar og langsiktig karbonlagring med biokull

Biokull er et produkt av pyrolyse, en prosess der biomasse varmes opp i fravær av oksygen, med samtidig produksjon av varmeenergi og brensel. De siste tjue årene har biokull fått anselig oppmerksomhet fra jordforskere over hele verden for dets bemerkelsesverdige evne til å lagre karbon i jord samtidig som det har positive virkninger på jordegenskaper. Biokullets stabilitet i ulike jordtyper har vist seg å være høy. Ekstrapolering fra en ettårig inkubasjonsstudie viser for eksempel at biokull er 60 ganger mer motstandsdyktig mot nedbrytning enn biomasse som ikke er pyrolysert (Budai mfl., 2016). Sammenlignet med nedbrytningshastigheten til organisk materiale i jord, som er svært stabilt, ble biokull brutt ned nesten ti ganger så sakte. I Norge lignet den årlige nedbrytningsraten på 0.5 % under disse inkubasjonsstudiene på nedbrytningsraten målt i et feltforsøk i Ås (Rasse mfl., 2017).

Karboninnholdet i biokull, og mengden biokull man får fra råstoffet, varierer betraktelig som en funksjon av råstoffet som brukes og pyrolyseforholdene (Lehmann mfl., 2006). Selv om en betydelig mengde karbon i biokullet omdannes til energiformål under pyrolyse, kan mer karbon forventes å bli værende i jorda når biokull brukes som jordforbedring enn når man bruker halm, bare et par år etter tilførsel, som vist i Fig. 7.



Figur 7. Mengden karbon som blir værende i jord fra biokull og ikke-pyrolysert biomasse. Figur etter Lehmann mfl. (2006).

Mengden biomasse som er tilgjengelig for biokullproduksjon avhenger i stor grad av bruksområder som er i konflikt med denne produksjonen, og av etterspørsel for biomasseressursene (Tabell 2). En nylig utgitt rapport anslår at 0.36 millioner tonn CO₂-utslipp kunne vært unngått ved produksjon av biokull fra 50 % av norsk halm (Bardalen mfl., 2018, se NIBIO Rapport;4(149) 2018 ikke i kildelisten)

Råstoff	M fm ³	M Tonn (0,4x fm ³)	Biomasse tilgjengelig for biokull produksjon (M Tonn) (50 % utnyttelse)	Potensial Biokull produksjon Mt (30 % utbytte fra biomasse)	Mt CO ₂ -e reduksjon fra biokull
GROT	3,7	1,48	0,74	0,22	0,66
Bark	0,47	0,19	0,095	0,03	0,09
Sagflis	0,4	0,16	0,08	0,02	0,07
Sum fra skogsråstoff			0,92	0,28	0,83
Halm*		0,93	0,4	0,12	0,36
Totalt			1,32 MT biomasse	0,4 MT biokull	1,19 MT CO₂ e

Tabell 2: Teoretisk CO₂e reduksjonspotensial knyttet til biokull fra halm og skogsressurser (Detaljer i Bardalen mfl. 2018)

* Etter Belbo 2011

Mangfoldige dyrkingssystemer og bruk av dekkvekster tillater økninger i jordkarbon gjennom økt produksjon av biomasse per areal med tilhørende nettoøkning i tilgjengelige ressurser. Dekkvekster kan dyrkes sammen med ettårige vekster eller plantes og dyrkes utenom typisk vekstsesong, når jorda ofte blir liggende bar. En meta-analyse som evaluerte dekkveksters evne til å lagre karbon i jordbruksjord, rapporterte om en potensiell kompensasjon av 8 % av direkte årlige klimagassutslipp fra landbruket (Poeplau & Don, 2015). Det er viden kjent at dekkvekster er en lovende metode for å øke innholdet av karbon i jord. En rapport av Rasse mfl. (2019) om potensialet for karbonlagring i jord ved bruk av ulike dyrkingspraksis i Norge anslo at dekkvekster kan binde 0.21 Mt CO₂ årlig dersom denne praksisen benyttes på 60 % av kornarealet. Som forklart i rapporten bygger dette estimatet på data fra felteksperimenter i utlandet, og de generelle kunnskapshullene er store.

Vår forståelse av mekanismene bak stabilisering av organisk materiale er i kontinuerlig utvikling, og vanskeligjøres av at mekanismene avhenger av lokale forhold (Angst mfl., 2021). Selv om interaksjonene er komplekse, finnes det klare bevis for at mangfoldige dyrkingssystemer i form av bruk av dekkvekster har en positiv virkning på danning av stabilt organisk materiale i jord. Bioporer i jord dannet av planter har for eksempel nylig blitt vist å være viktige for stabilisering av karbon i jord (Kravchenko mfl., 2019). Virkningen av dekkvekster på skjebnen til halmrester er per dags dato ikke kjent. Det er sannsynlig at dekkvekster og den assosierte økningen i mikrobiell aktivitet i den større rhizosfæren ville for eksempel øke nedbrytningshastigheten gjennom jordprofilet og muligens øke stabiliseringen av restene.

En undersøkelse av samspillet mellom jordarbeiding og annen praksis, som bruk av belgvekster, tyder på at konvensjonelle dyrkingsmetoder har en tendens til å nøytralisere de positive virkningene som redusert jordarbeiding har på innholdet av karbon i jord (Nicoloso & Rice, 2021). Pløyefritt jordbruk har i seg selv ikke blitt vist å øke innholdet av karbon i jord – mens innholdet av karbon øker tydelig i toppjorda, utlignes dette ofte når man tar dypere jordlag med i beregningen (Rasse mfl., 2019). Nye studier postulerer at å kombinere pløyefritt jordbruk med beste praksis-metoder slik som vekstskifte, forbedret gjødselbruk og bruk av belgvekster kan heve innholdet av karbon i jorda opp til nivåer som

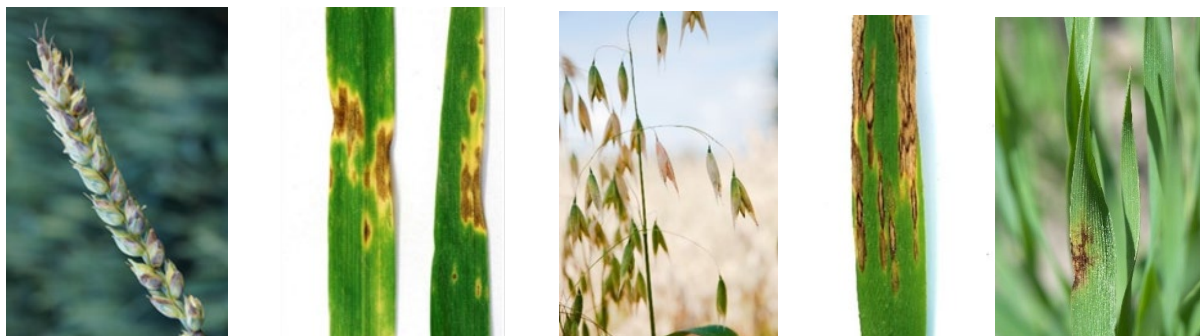
finnes i naturlig jord. En meta-analyse på virkningen av redusert jordarbeiding på innholdet av jordkarbon ned til en meters dybde viser at intensivisering gjennom å dyrke flere avlinger gjennom sesongen i varmere klima leder til høyere innhold av karbon i jorda over tid (Nicoloso & Rice, 2021). Studien viser også at forvaltning av jordas innhold av N, gjennom for eksempel dyrking av belgvekster, er viktig for å øke karbonlagring ved pløyefritt jordbruk eller redusert jordarbeiding. En tidligere meta-analyse fra Angers og Eriksen-Hamel (2008), hvor > 85 % av eksperimentene kommer fra regioner med kaldt klima og en avling i året, rapporterer om mye mindre forskjeller mellom pløyefritt jordbruk og bruk av vendeplog enn studien gjort av Nicoloso og Rice (2021). Selv om det kalde klimaet i Norge innebærer begrensninger for dyrking av mer enn en avling i året, er bruken av dekkvekster og samdyrking foreløpig lite brukt, og kunne hatt signifikant gunstige virkninger på karbonlagring i jord. Bieffekter fra pløyefri praksis, slik som mer langsom oppvarming av jorda under et lag av planterester om våren, kan potensielt hjelpes på ved tidlig vekst av dekkvekster etablert før vinteren. Synergiene mellom mangfoldige dyrkingssystemer/dekkvekster og redusert jordarbeiding er foreløpig ikke utforsket i Norge, og vi trenger å finne de rette jordbruksmetodene for våre lokale forhold. Sett under ett virker det som dekkvekster, spesielt bruken av belgvekster, har en større virkning på innholdet av C og N i jord enn jordarbeidingen i seg selv.

7 Planterester, plantesjukdommer og ugras

Av *Chloé Grieu, Ingerd Skow Hofgaard, Andrea Ficke, Kirsten Tørresen*

7.1 Planterester og overlevelse av soppjukdommer

I denne sammenstillingen har vi valgt å gjengi utdrag av Bioforsk-rapporten «Redusert jordarbeiding og konsekvenser for plantevern» fra 2012 (Tørresen mfl. 2012), i tillegg til å presentere nyere forskningsresultater innen temaet.



Bilde 14: Eksempler på sjukdommer i korn forårsaket av sopper som kan vokse og overleve i stubb og halmrester: Hveteprikker i hvetehalm, hveteblandeprikker i hvetestjeler, Fusarium i havre, grå øyeflekk og byggbrunflekk i bygg (Foto: NIBIO).

7.1.1 Sammenhengen mellom mengde stubb og halmrester og overlevelse av soppjukdommer i korn

Mange sjukdommer i korn forårsakes av sopper som kan vokse og overleve i planterester av stubb og halm. Plantepatogene sopper kan spres fra planterester over korte avstander innen en åker ved hjelp av hyfer og mycel (tråder og nettverk av soppceller) eller noen meter ved hjelp av sporer (konidiesporer).



Bilde 15: Halmen som pløyes ned, brytes ofte ikke ned og pløyes opp året etter (Bilde: T. Seehusen)

Noen av soppene kan også danne luftbårne sporer som kan spres med vind over lengre avstander (Prussin mfl. 2014; Suffert mfl. 2011). Stubb og halmrester i øvre jordlag og oppå bakken utgjør derfor et "smittereservoar" som kan utvikle seg raskt og forårsake tidlige angrep i ny åker (Davies mfl. 2006; Bockus & Shroyer 1998). Planteresters betydning som smittekilde for sykdommer reduseres etter hvert som planterestene brytes ned, noe som blant annet avhenger av mengde og alder på planterestene, C/N ratio, lignininnhold, jordart, tilstedeværelse av ulike mikroorganismer, forekomst av ugrasmidler, temperatur og fuktighet under & mellom vekstsesongene (Bockus & Shroyer 1998; Pereyra mfl. 2004; Kriauciuniene mfl. 2012). Det tar som regel lenger tid for planterester å bli brutt ned når de blir liggende på overflata enn om de blir pløyd ned (Pereyra mfl. 2004). Pløying er et av de anbefalte tiltakene for å redusere smittepress av ulike patogener i korn (Bockus mfl. 2010), og et viktig forebyggende tiltak i integrert bekjempelse av plantesjukdommer (Krupinsky mfl. 2002). Redusert jordarbeiding medfører som oftest at det blir liggende en del planterester av halm og stubb oppå jorda, noe som kan gi øke angrep av soppsjukdommer i korn (Dill-Macky & Jones 2000; Guo mfl. 2010; Hofgaard mfl. 2023; Sturz mfl. 1997), men det finnes også eksempler der utvikling av sykdom ikke har blitt påvirket av jordarbeidingsmetode (Sturz mfl. 1997; Davies mfl. 2006; Hofgaard mfl. 2020). Dersom det er mye soppsmitte i en kornåker, vil risikoen for utvikling av sykdom i tillegg avhenge av plantenes mottakelighet for den aktuelle sykdommen og om værforholdene er gunstige for utvikling av sykdom.

Store mengder med stubb og halmrester kan, i tillegg til å potensielt øke smittepresset, påvirke de lokale dyrkingsforholda i den enkelte åker. Planterester kan påvirke mikrobiotaen i jorda og dermed også miljøet rundt planterøttene (Sturz mfl. 1997; Lenc mfl. 2015). Sammensetningen av mikroorganismer i jorda kan igjen påvirke overlevelse plantepatogener i jord og planterester og dermed risikoen for plantesykdommer (Wei mfl. 2020). Mye stubb og halmrester i øvre jordlag og oppå bakken, kan dessuten medføre redusert jordtemperatur og økt jordfuktighet. Dette vil sammen med endringer i jordstruktur, innhold av organisk materiale osv., påvirke innhold av og aktivitet hos mikroorganismer og samspill mellom disse (Sturz mfl. 1997).

I de følgende avsnittene diskuterer vi mulige sammenhenger mellom mengde halmrester og risiko for aksfusariose (*Fusarium*, inkl. mykotoksiner) i korn og bladfleksjukdommer i hvete. Omtalene bygger delvis på norske studier der slike finnes, men er for øvrig basert på studier fra andre land.

Sjukdommer som byggbrunfleck og grå øyeflekk i bygg er ikke inkludert i den videre omtalen, men dette er også sjukdommer som er vanlig forekommende i norsk korn og som også antas å påvirkes av mengde planterester. Mer utførlig informasjon om effekten av redusert jordarbeiding på ulike sjukdommer i korn finner du i Bioforsk-rapporten «Redusert jordarbeiding og konsekvenser for plantevern» (Tørresen mfl. 2012).

Fusarium er en stor soppsekt med mange arter som kan angripe akset på hvete, bygg og rug (aksfusariose) og risla i havre (Bilde 13). I tillegg til å redusere avlingsmengde, kvalitet og gi nedsatt spireevne, kan mange *Fusarium*-arter produsere en rekke forskjellige mykotoksiner (soppgifter) som kan være giftige for mennesker og dyr (VKM mfl. 2013). Vekst og utvikling av *Fusarium* sopper påvirkes av vær og dyrkingsforhold. Dersom det er smitte til stede vil fuktige værforhold, særlig i kornplantenes blomstringsperiode, gi økt risiko for angrep og utvikling av mykotoksiner (Krisss mfl. 2010; Hjelkrem mfl. 2022). *Fusarium* overlever på planterester av stubb og halm, i jord og på såkorn/frø (Hofgaard mfl. 2016a; Hofgaard mfl. 2016b). *Fusarium graminearum*, en soppart som er vanlig forekommende i Norge og mange andre steder i verden, kan overleve i planterester av hvete i over to år avhengig av nedbrytningsgrad av planterestene (Pereyra mfl. 2004), mens utvikling av ascosporer er hovedsakelig observert i infiserte planterester på jordoverflata (Inch & Gilbert 2003). Henriksen (1999) viste i undersøkelser i Norge på 1990-tallet at redusert jordarbeiding i kombinasjon med ensidig korndyrking kunne føre til økte nivåer av *Fusarium*-smitte og dermed øke risikoen for aksfusariose og videre utvikling av mykotoksiner i korn. Noe som også bekreftes i nyere studier (Hofgaard mfl. 2023). Parallelt med økt utbredelse av *Fusarium*, inkludert *F. graminearum*, og økte forekomster av mykotoksinet DON i Norge i begynnelsen av 2000-tallet (VKM mfl. 2013), hadde kornarealet som lå i stubb over vinteren økt fra 37 % i år 2000 til omtrent 57 % i 2011 (Bye mfl. 2012). Det er derfor nærliggende å forklare de økte forekomstene av *Fusarium* og mykotoksiner som vi opplevde i Norge noen påfølgende sesonger for over ti år siden med økt smittepress fra planterester som følge av en økning i arealer med redusert jordarbeiding kombinert med ensidig dyrking av relativt mottagelige kornsorter og værforhold som har fremmet utvikling av sjukdom (Hofgaard mfl. 2022; Hofgaard mfl. 2016a). En rekke undersøkelser fra Norge og diverse land har vist at risikoen for angrep av aksfusariose og utvikling av mykotoksiner øker ved redusert jordarbeiding og dyrking av korn etter korn (Dill-Macky & Jones 2000; Guo mfl. 2010; Hofgaard mfl. 2023). Imidlertid er det også rapportert om små forskjeller, eller lavere angrep av aksfusariose i harva sammenliknet med pløyde forsøksruter (Hofgaard mfl. 2020) og i enkelte tilfeller er det observert lavere angrep av *Fusarium* i direktesådd åker, i forhold til åker med redusert jordarbeiding (Fernandez mfl. 2005). I forsøk gjennomført i Norge var vårpløying tilnærmet like effektivt for å redusere risiko for *Fusarium* og mykotoksiner i havre, som dyp høstpløying (Hofgaard mfl. 2023). Velger en å pløye om våren kan åkeren ligge i stubb gjennom vinteren og dermed være bedre beskyttet mot erosjon senhøstes og tidlig vår. I dyrkingsveiledere utarbeidet i Norge og i diverse andre land (bl.a. Sverige, Danmark, England, USA, Canada) og i en egen veiledning for EU, omtales planterester oppå bakken som viktigste smittekilde for *Fusarium*. I tillegg til å dyrke kornsorter med størst mulig grad av resistens og bekjempe med et egnet fungicid i kornets blomstringsperiode, er derfor vekstskifte og/eller nedpløying av halmrester et viktig tiltak for å redusere risiko for mykotoksiner i korn.

Bladfleksjukdommer er betegnelse på et sjukdomskompleks som består av tre sjukdommer: hveteaksprikk (*Parastagonospora nodorum*), hvetebladprikk (*Zymoseptoria tritici*) og hvetebrunfleck (*Pyrenophora tritici-repentis*). Andel av angrepet mellom de ulike sjukdommene varierer fra år til år i Norge, men hveteaksprikk dominerer i bladfleksjukdommerkomplekset (Ficke mfl. 2018a). Høyt angrep kan redusere avlinger kraftig (opptil 25 % i norske forsøk) og påvirke kvalitet (Ficke mfl. 2018b). Soppene overvintrer mellom vekstsesong som sporer eller mycel på planterester, i stubb og på grasarter (Williams & Jones 1973). De kan overleve i flere år i uforstyrret stubb (Bockus

mfl. 2010). Overvintring av sopper, og mengde av nye sporer om våren er høyere i åker hvor infiserte planterester blir liggende på bakken etter høsting (Duczek mfl. 1999).

I en oversikts-artikkel om smittekilder for hvetebladprikk konkluderes det med at sporer utvikla i planterester på bakken anses å være hovedsmittekilde for sjukdommen (Suffert mfl. 2011). Det er også vist at infiserte halmrester oppå bakken kan forårsake angrep direkte på spirende hveteplanter (Holmes & Colhoun 1975). En amerikansk studie viste at angrepsnivå av bladflekk i en hveteåker øker med mengde planterester av halm og stubb som ligger igjen på bakken etter innhøsting det foregående året. Nedpløying av stubb og halm reduserte angrepet betydelig i dette forsøket (Mehra mfl. 2015). Stover mfl. (1996) fant imidlertid at pløying har bare en effekt ved tidlige prøveuttak i ensidig hvetedyrking. Det betyr at smitte av bladflekkssjukdommer fra planterester oppå bakken først og fremst vil sørge for tidligere angrep, og at fuktighet og nedbør vil være avgjørende for videre utvikling av angrepene over sesongen. Videre kan sporespredning gjennom lufta fra andre åkere forårsake angrep og redusere effekten av pløying på sjukdomsutvikling i den enkelte åker. En finsk studie viste imidlertid at et allsidig vekstskifte kan bidra til å redusere tidlig angrep av bladflekkssjukdommer i dyrkingssystemer med redusert jordarbeiding (Jalli mfl. 2021).

7.1.2 Hvordan økt diversitet av planter (vekstskifte, fangvekster) kan påvirke overlevelse av sopp som forårsaker sjukdom i korn

Risiko for at soppsjukdommer skal utvikle seg i en åker avhenger blant annet av om det er smitte til stede og i hvilken grad smitten oppformerer og spres. Oppformering og spredning av soppsjukdommer innen en åker avhenger blant annet av værforhold og at soppen har et egnet substrat å vokse på, for eksempel at det er mottakelige vertsplanter til stede. Dyrking av ikke mottakelige planter (for eksempel som fangvekst, underkultur), kornsorter med høy grad av sjukdomsresistens, og/eller sortsblandinger der sortene har ulike resistensegenskaper, kan derfor antakelig bidra til å begrense videre oppformering og spredning av soppsmitte innen en åker. I dette avsnittet har vi imidlertid hovedsakelig valgt å fokusere på tiltak som kan påvirke overlevelse av sopp i jord/planterester. Overlevelse av plantepatogene organismer i planterester vil reduseres over tid. Dersom en dyrker planter som ikke er mottakelige for en spesifikk sjukdom vil smittepresset av sjukdommen reduseres. Vekstskifte kan derfor bidra til å redusere smittepresset av sjukdomsfremkallende sopper i en åker. I tillegg har bruk av fangvekst/ettervekst i korn og videre innarbeiding av organisk materiale i jorda i flere tilfeller bidratt til å redusere forekomst av sjukdomsfremkallende patogener (Plaszko mfl. 2021; Kadziene mfl. 2020). Fangvekster bidrar til økt biodiversifisert som kan påvirke forekomst av sjukdomsfremkallende patogener i jorda, og noen utenlandske forsøk har visst at fangvekster kan ha en dempende effekt på soppangrep i korn (Vukicevich mfl. 2016; Kraska mfl. 2014).

Tilføring av organisk materiale kan endre næringsbalansen i jorda og gi økt aktivitet av ulike mikroorganismer, noe som igjen kan påvirke forekomsten av plantepatogene organismer (Wei mfl. 2020; Plaszko mfl. 2021). Utfallet av dette kan blant annet ha sammenheng med hvilke plantearter og sorter som inkorporeres i jorda og hvilke mikroorganismer som er til stede (Wei mfl. 2020; Sturz mfl. 1997). I tillegg er enkelte planter, for eksempel korsblomstra vekster, kjent for å inneholde stoffer som kan hemme utvikling av planteskadegjørere (Plaszko mfl. 2021). Nedpløying og inkorporering av korsblomstra vekster i jorda kan derfor ha en direkte hemmende effekt på ulike sopper. Mange studier viser at inkorporering av plantemateriale i jorda kan bidra til å hemme overlevelse av plantepatogene sopper.

Derimot finnes det også studier som viser at inkorporering av organisk materiale i jorda (Bilde 8+10) kan bidra til å øke forekomst av sjukdomsfremkallende mikroorganismer (Plaszko mfl. 2021). Det er derfor behov for å identifisere arter og sorter av planter som kan bidra til å begrense overlevelse og oppformering av spesifikke sjukdomsfremkallende patogener i jord og halmrester, slik at dyrking av disse, for eksempel som fangvekst, kan presenteres som en del av en integrert plantevernstrategi i korn.

Vekstskifte med andre plantearter enn korn), kan bidra til å redusere smittepresset av *Fusarium* i en kornåker (Dill-Macky & Jones 2000). Dyrking av enkelte korsblomstra vekster som fangvekst kan bidra til å redusere smittepresset av *Fusarium*-sopper i jord/planterester (Ashiq mfl. 2022) og det er observert redusert forekomst av *Fusarium* i korn høstet fra forsøksruter med kløver eller hvitsenep som fangvekst (Kadziene mfl. 2020). Derimot er det vist at flere *Fusarium*-arter kan overleve på planterester av en rekke en- og tofrøbladede plantearter, inkludert ugras (Pereyra & Dill-Macky 2008; Guo mfl. 2010; Landschoot mfl. 2011; Suproniene mfl. 2019). Det vill derfor være nyttig å kartlegge hvilke plantearter og sorter som kan bidra til å redusere risikoen for oppformering av *Fusarium* i stubb og halmrester, slik at dyrking av utvalgte fangvekster kan presenteres som en del av en integrert bekjempelsesstrategi for *Fusarium* i korn.



Bilde 17: Åker med bygg og frøblanding til jordforbedring (Bilde: T. Seehusen)

Vekstskifte er et viktig tiltak for å begrense angrep av bladfleksykdommer i korn. Et norsk prosjekt gjennomført mellom 2010 og 2014 viste at valg av forgrøde hadde betydning for angrep av bladflekk i påfølgende hvete. Havre, oljevekster og erter/åkerbønne som forgrøde ga redusert angrep av bladfleksykdommer i hvete (5 % i gjennomsnitt i ubehandlet ledd) sammenlignet med hvete etter hvete (Abrahamsen 2015). I denne studien hadde valg av forgrøde større økonomisk betydning enn soppbekjempelse. I den finske studien nevnt før (Jalli mfl. 2021) ble i tillegg høyeste avling i vårhvete nådd i systemer med minimal jordarbeiding kombinert med et 4-års vekstskifte (vårhvete – rybs – bygg - erter). Noe som viser at vekstskifte kan redusere spredning av sykdom og har en positiv virkning på avlingene i dyrkingssystemer med redusert jordarbeiding.

Relaterte prosjekt i NIBIO

Et 2-års prosjekt, finansiert av Landbruksdirektoratet gjennom *Handlingsplanen for bærekraftig bruk av Plantevernmidler*, startet i 2022 hvor hovedmål er å utvikle kunnskap om risiko for angrep av bladfleksykdommer i vårkorn med fangvekster. En skal se på soppangrep i vårhvete sådd med ulike typer og tetthet av fangvekster kombinert med soppbekjempelse.

Et 3-årig prosjekt, finansiert av Landbruksdirektoratet gjennom *Handlingsplanen for bærekraftig bruk av Plantevernmidler*, startet i 2023 med mål om å identifisere korsblomstra vekster som kan bidra til å redusere overlevelse av sopp og nematoder i jord og planterester.

I prosjektet 'Mer økologisk korn gjennom bedre jord- og plantehelse', finansiert fra Landbruksdirektoratet, har NIBIO jobbet med feltforsøk over tre år hos økologiske gårdsbrukere for å se på sammenheng mellom organisk materiale, jordhelse og plantehelse. Effekt av fangvekster, pløying og sortsblandinger på plantehelse i økologisk og konvensjonelt dyrket korn er forsket på i et nytt prosjekt finansiert av Landbruksdirektoratet (Mer mangfold i dyrkingsstrategiene for å øke lønnsom produksjon av sunne økologiske korn- og proteinvekster).

7.2 Redusert jordarbeiding og ugras

Jordarbeiding kan redusere forekomst av ugras gjennom å begrave og kutte opp planter. Pløying vil snu jorda og begrave planter i større grad enn harving (se avsnitt 1.4, figur 3, bilde 7). Vi har observert at harving bare kan plante om overvintrende arter som balderbrå og tunrapp, noe som bare gir en forsinkning i veksten. Samtidig kan jordarbeiding fremme ugraset ved å stimulere ugrasfrø og vegetative plantedeler (røtter, jordstengler) til å spire (lysimpulser, bedret oksygentilgang og bedring i andre forhold som fremmer bryting av frøhvile og spiring, Håkansson 2003, Vleeshouwers & Kropff 2000). Grunn jordarbeiding kan stimulere oppspiring og vekst av ugras mens dyp jordarbeiding hindrer oppspiring (Mohler 1993, Chauhan mfl. 2006). Dyp nedgraving ved pløying reduserer spiringa til de ulike artene i varierende grad, men uansett art vil spirene sjelden nå jordoverflata. Frø kan leve lenge i jorda hvis begravd dypt og i uforstyrret jord (uten jordarbeiding) (Roberts & Feast 1973, Tørresen & Skuterud 2002). Frøhvile og ugunstige forhold for spiring gjør at frøene kan leve mange år i jorda under slike forhold. Ugras kan hvis det ikke bekjempes tilfredsstillende og/eller får lite konkurranse fra kulturveksten, produsere enorme mengder frø. Skjebnen til frøene er uvis - kun noen få prosent spirer til nye planter og mange av dem utsettes for ulike typer tap. En type tap er frøpredasjon, dvs. av smådyr som biller, mus og fugler spiser frøene. Dersom jorda ligger urørt om høsten (uten jordarbeiding), kan det legges til rette for at smådyr spiser frø som ligger på overflata (bl.a. Davies mfl. 2011). Vi har lite kunnskap om dette under norske forhold. Utførelsen av jordarbeidingen (type, dybde, tidspunkt, antall jordarbeidinger) i kombinasjon med blant annet værforhold, konkurranse fra kulturplantene, bruk av kjemiske ugrasmidler og ugrasart, har betydning for hvorvidt og i hvilken grad ugraset bekjempes (Tørresen mfl. 2012). Nye typer jordarbeidingsredskap kan påvirke ulike typer ugras forskjellig avhengig av type ugras.

Norske forsøk i vårkorn har vist at sammenlignet med pløying (høst eller vår) kan redusert (høstharving, vårharving) og ingen jordarbeiding (direktesåing) øke ugrasangrepet, spesielt av flerårige arter som kveke, åkerstistel og åkerdylle, men også vinterrettårige og toårige ugrasarter, selv om ugrasmidler brukes (Seehusen mfl. 2016, Tørresen mfl. 2018). Høstharving har i forsøk resultert i mindre ugras enn vårharving som igjen har hatt mindre ugras enn direktesåing. Om det pløyes høst eller vår har hatt mindre å si for ugraset, men noen studier viser at tofrøblada rotugras som åkertistel og åkerdylle har vært bedre bekjempet ved pløying om våren enn om høsten når pløyedypet var det samme (Brandsæter mfl. 2017). Av vinterrettårige arter har tunrapp, knereverumpe, vassarve, gjetertaske, rødtvetann, åkerminneblom og åkersvineblom vært vanlig forekommende, og balderbrå av de toårige. Sommerrettårige arter kan også øke, men det varierer mer med art om de fremmes av redusert jordarbeiding eller ikke (stivdylle, linbendel, klengemaure har bl.a. risiko for å øke, Tørresen mfl. 2012). Det er mindre kunnskap om effekt av redusert/ingen jordarbeiding i høstkorn.



Bilde 18: Ugrasarter som ofte øker ved redusert jordarbeiding er kveke (a), balderbrå (b) og tunrapp (c) (Bilder: Erling Fløistad (a og b) og Kirsten Semb Tørresen (c))

En må ha fokus på ugrasbekjemping ved plogfri jordarbeiding for å opprettholde avlinga- og spesielt har det vært behov for og økt bruk av ugrasmidlet glyfosat (Tørresen mfl. 2018). En art som kveke bekjempes best med glyfosat, men også overvintrende vinterrettårige og toårige arter som ellers vil overvintre og bli vanskelige å bekjempe i en kornåker. Glyfosat er nå til revurdering i EU. Hvis glyfosat fases ut kan vi få utfordringer med bekjempelse av ugras ved redusert jordarbeiding og dermed store negative konsekvenser for jordbruk og matproduksjon (Tørresen mfl. 2018). Kveke, åkertistel, åkerdylle og tunrapp økte i forsøk ved redusert jordarbeiding der det ble sprøytet jevnlig med glyfosat og frøugrasmidler (Riley mfl. 2005). Flerårige ugras er nødvendig å bekjempe jevnlig dersom avlinga skal opprettholdes ved redusert jordarbeiding (Riley mfl. 2009), og er mer problematisk i økologisk dyrking med mer intensiv jordarbeiding (Brandsæter mfl. 2012, Melander mfl. 2012, Salonen mfl. 2013). I integrert produksjon er bruk av fenoksyryler (MCPA, mekoprop-P) egnet til å bekjempe tofrøblada rotugras, men trolig også med frøugrasmidler dersom de brukes seint nok (Tørresen mfl. 2003). Vi trenger mer kunnskap om en kun kan foreta en sein sprøyting for å bekjempe både frøugras og tofrøblada rotugras eller om en bør foreta en sein sprøyting med fenoksyryler etter en tidligere frøugrassprøyting. Bruk av nye typer redskapstyper mot rotugras forskes på i tidligere og pågående prosjekter (FRAKK, SUSWECO). Spesielt lovende mot åkertistel har vært en rotskjærer som skjærer horisontalt i jorda med minimal forstyrning av jordoverflata (prototype fra Kverneland, Brandsæter mfl. 2021). Grasugras som tunrapp har vært vanskeligere å bekjempe enn tofrøblada frøugrasarter i forsøk med redusert jordarbeiding (Riley mfl. 2005, Seehusen mfl. 2016, Hofgaard mfl. 2023). Noe som vanskeliggjør bekjemping av spesielt frøugras er økt risiko for utvikling av ugrasmiddelresistens ved redusert jordarbeiding (i tillegg til ensidig bruk av midler med samme virkemekanisme). Dette skyldes (1) at der ikke blir pløyd er det normalt en generasjon frøugras per år, mens det der det pløyes vil være en generasjon på to år av frøugraset, og (2) at et større antall frø ligger så grunt at det spirer fram flere planter ved redusert jordarbeiding enn ved pløying, noe som fører til at en større variasjonsbredde blir eksponert for ugrasmidlet og et større antall per generasjon av individ som er resistente eller har økt toleranse vil få mulighet til å produsere frø (Tørresen mfl. 2015). Det har i Norge vært påvist resistens mot lavdosemidler i åtte tofrøblada ugrasarter (Johansen mfl. 2020).

Bruk av fangvekster i korn er vist å redusere veksten av frøugras, men vil trolig ikke undertrykke flerårige ugras tilstrekkelig, med mindre de produserer en stor biomasse og som igjen kan gå på bekostning av kornavlingen (Brandsæter mfl. 2012, Ringselle mfl. 2015, Westbrook mfl. 2022). Fangvekster sådd samtidig med kornet kan begrense valget av selektive ugrasmidler i vekstsesongen. Dette er særlig problematisk for alvorlige grasugras som floghavre og hønsehirse, der en må/bør

prioritere bekjemping av disse framfor å dyrke visse fangvekster. Fangvekster bekjempes per i dag med pløying eller glyfosat før såing av korn. I de pågående prosjektene FRAKK og SUSWECO undersøker vi om fangvekster kan bekjempes med spesialharver og med alternative ugrasmidler.

8 Økonomi

Av Till Seehusen

Tidligere undersøkelser har vist at redusert lønnsomhet kan være en viktig avlingsbegrensende faktor (Vagstad mfl., 2013, Seehusen & Uhlen, 2019). Dårlig lønnsomhet fører bl.a. til lavere investering i nytt utstyr og nye teknologier. I de siste årene har mange av innsatsfaktorene, som diesel og gjødsel økt betydelig i pris (Jordbruket, 2022), noe som nå fører til at gårdbrukere sitter igjen med store ekstrakostnader og dårligere inntjening.

8.1 Dieselskostnader

Det brukes årlig ca. 134,1 millioner liter diesel i norsk landbruk (2017) (unntatt drivhusproduksjon), noe som tilsvarer ca. 13,6 l diesel/daa/år (Eidem, 2020). Antatt en literpris på 8,4 kr/l (2018) utgjorde derfor dieselskostnadene en total kostnad på ca. 1,1 milliarder kroner i 2018, noe som tilsvarer 114 kr/daa og år. Dieselskostnader gikk opp med 31 % i perioden januar 2021 til februar 2022 og diesel utgjør derfor en enda større andel i dag enn bare for noen år siden (Jordbruket, 2022). Avhengig av hvordan maskinene brukes, representerer drivstoff- og smøremiddelkostnader 16-45 % av de totale maskinkostnadene (Safa mfl., 2010).

Jordarbeiding står for mellom 50-65 % av det direkte energiforbruket utpå jordet (Filipović mfl., 2004, Kowalewsky, 2009). Det totale drivstofforbruket i hveteproduksjonen er ca. 6,5 l/daa, mens forbruket til jordarbeiding antas å være omlag 3,0 l/daa (45 %). Her finnes det et stort potensial for optimalisering, og studier viser at en kan spare 10 til 15 % ved å øke effektiviteten av eksisterende maskiner, og ytterligere 15 % ved å investere i mer moderne utstyr (Kowalewsky, 2009).

Ikke bare jordarbeidingsmetoden, men også -dybden spiller inn (Arvidsson mfl., 2010, Guul-Simonsen mfl., 2002) og hver ekstra centimeter arbeidsdybde fører til at omtrent 15 tonn mer jord må flyttes per dekar. Dette øker drivstofforbruket med ca. 0,1 l/daa (Kowalewsky, 2009, Moitzi mfl., 2006). Erfaring viser at jordarbeidingsdybden ofte kan reduseres uten negativ innvirkning på kvaliteten av arbeidet (Guul-Simonsen mfl., 2002, Kouwenhoven mfl., 2002). Riktig valg av jordarbeidingsmetode, optimal justering av utstyr og riktig kombinerings av verktøy er avgjørende for god arbeidskvalitet, og lavt drivstofforbruk. En overgang til en mindre intensiv jordarbeidingen kan dermed bidra til å forbedre lønnsomheten betydelig.



Bilde 19: Moderne utstyr til strip-till (Bilde: T. Seehusen)

8.2 Tidsforbruk og laglighetskostnader

Studier viser at jordarbeiding utgjør mer enn 30 % av arbeidstiden som brukes på norske kornbruk (Riley, 1988a). Spesielt om våren kan det være utfordrende å gjennomføre alt feltarbeidet i forhold til plantenes behov, jordas fuktighetsinnhold og arbeidsmengden ellers. Denne konflikten fører til redusert produktivitet, særlig på store gårdsbruk (Hoel mfl., 2013, Petersen mfl., 2010).

Klimaendringene fører til våtere forhold (Hanssen-Bauer mfl., 2015) og vil redusere antall dager som er lagelig for feltarbeid (Seehusen mfl., 2016b). Det er derfor avgjørende å øke effektiviteten i de ulike operasjonene for å redusere tidsforbruket i travle perioder, spesielt om våren. Studier av tidsbruken til ulike jordarbeidingsoperasjoner er derfor avgjørende for å gi gode anbefalinger for hvordan lagelige forhold kan utnyttes best mulig (Kolberg mfl., 2019). Mer effektivt feltarbeid, bedre tilpasset de faktiske behovene, kan bidra til å redusere fare for jordpakking og hjelpe til å forbedre utnyttelse av innsatsfaktorene.

Erfaring viser at både utsatt såing og jordpakking (på grunn av kjøring på ikke lagelig jord) i våronna fører til avlingstap (Riley, 2016). Tapet kalles gjerne for laglighetskostnad. Denne kostnaden kan reduseres ved å øke kapasiteten per dag i våronn. Dette medfører enten økte maskinkostnader eller økte arbeidskostnader, eller en kombinasjon av disse. For å støtte gårdbrukere i å finne en optimal balanse mellom disse kostnadene har det blitt laget en modell som beregner maskinkostnader for tre størrelser (arbeidskapasiteter) av mekanisering i våronna og laglighetskostnader på grunn av utsatt såtid på økende størrelse av kornarealet (Mangerud mfl., 2017).

Modellen beregner summen av laglighetskostnadene, arbeidskostnadene og maskinkostnadene (dvs. totalkostnadene) for tre forskjellige redskap/traktorstørrelser på kornarealer fra 200 til 1800 dekar. Estimaten av maskinkostnader, laglighetskostnader og totalkostnader kan gi en indikasjon på hvilken av mekaniseringsalternativene er rimeligst på et gitt areal. Maskinkostnaden blir beregnet for ulike alternativer og deet kan velges mellom ulike jordtyper og for ulike regioner. Modellen er tilgjengelig på

NIBIOs hjemmesider (<https://www.nibio.no/tjenester/maskinkostnader-og-laglighetskostnader-i-varonna?locationfilter=true>).

8.3 Økonomiske resultater av jordarbeiding

Tidligere studier viser at kostnadene ved pløying er høye sammenlignet med andre jordarbeidingsoperasjoner på grunn av høye maskinkostnader, stort tidsforbruk og høye dieselkostnader, og at en eventuell avlingsøkning på grunn av pløying sjelden dekker de ekstra kostnadene (Refsgaard mfl., 2013). Nye resultater viser at det er mulig å oppnå like gode avlinger selv om jordarbeidingsintensiteten reduseres (se avsnitt 1.5) slik at regnestykket kommer til å slå ut enda mer i favør av redusert jordarbeidingsintensitet i framtida.

Et hovedspørsmål knyttet til kostnadene ved hver jordarbeidingsoperasjon er timeprisen for gjennomføring av feltarbeidet. Dette kan variere betydelig mellom gårdsbruk (Veidal & Refsgaard, 2014) avhengig av mulighet for alternativt arbeid. Videre vil gårdbrukere måtte gjøre avveininger mellom arbeidskraft og kapitalkostnader ved valg av maskiner for jordarbeiding. Tidligere studier i norsk skogbruk har vist at høye lønnskostnader gir insentiver til å investere i maskiner med høy produktivitet (Vennesland mfl., 2013).

8.4 Kostnader ved jordforringelse

Studier viser at jordforringelse gjennom erosjon, jordpakking og tap av organisk materiale fører til betydelige ekstra kostnader for både gårdbrukere og samfunnet som kan summere seg opp til store kostnader per daa og år. I en studie fant Graves mfl. (2015) en reduksjon på 140 kr/daa/år på grunn av jordpakking, forårsaket av avlingstap (80 % av totalen), økt dieselforbruk (8 %) og redusert gjødselutnytelse (12 %). I den samme studien fant de at kostnadene for erosjon var 160 kr/daa/år. I følge Graves mfl. (2015) oppstår mer enn halvparten av kostnadene 'off-side', altså utenom landbruksarealet, der samfunnet står for kostnadene (miljøbelastning, eutrofiering, utslipp av klimagass og forringet vannkvalitet).

Redusert jordarbeidingsintensitet, holde åkeren dekket og tilbakeføre planterestene samt å utnytte disse bedre kan altså hjelpe til å redusere jordforringelse og forbedre driftsresultatet betydelig. Samtidig vil en bedre jordstruktur, infiltrasjon, men også mindre kjøring under fuktige forhold forebygge pakkeskader og reduserer behov for komplisert og kostbar jordløsning (Seehusen 2023).

8.5 Kostnader for plantevern

På linje med andre innsatsfaktorer har også kostnadene for kjemiske plantevernmidler økt gjennom de siste årene, grunnet både generell prisøkning og leveranseproblemer etter koronapandemien samt høy etterspørsel. I sammenheng med minimal jordarbeiding øker ofte behovet for kjemisk plantevern, og sprøyting ansees ofte som en nødvendighet. Glyfosat er det mest brukte herbicidet i Norge og assosieres ofte med minimal jordarbeiding. Det ble i perioden 2018- 2022 omsatt 312473 kg/år (omsetningsstatistikk for plantevernmidler 2018- 2022). Prisen på glyfosat på verdensmarked har økt med ca. 50 % fra 2021 (Agrar Heute 2022 <https://www.agrarheute.com/markt/duengemittel/preise-fuer-pflanzenschutz-explodieren-getreideernte-gefahr-595213>) noe som har ført til en betydelig økning av prisene på sprøytemidler som inneholder glyfosat også i Norge. Ifølge Felleskjøpet har prisen per l 'Gallup Super' (billigst tilgjengelig glyfosatholdig middel hos felleskjøpet) økt fra ca. 35 kr/l i 2019 til 132 kr/l i 2023 (dersom produktet Glypper er tilgjengelig i 2023 ville det være det billigste alternativet på 114 kr/l).

Den samme tendensen gjelder i mindre grad for nesten alle herbicider og fungicider (Plantevernkatalog, FK). Dersom dyrking av fangvekst og/eller minimal jordarbeiding fører til større

behov for kjemisk plantevern, er det viktig med et effektivt sprøyteregime for å unngå at økte kostnader for sprøyting bruker opp gevinsten av minimal jordarbeidingen.

8.6 Kostnader for fangvekst

I en tidligere studie har Bøe mfl. (2019) beregnet kostnader for de to mest brukte dyrkingsmetodene for fangvekster i korn: 1) undersådd om våren og 2) sådd like før høsting. I disse kalkulasjonene ble det antatt at fangvekster ble undersådd på 40 % av arealet, mens på 60 % ble fangvekstene sådd rundt høsting.

Ved såing av undersådde fangvekster brukes ofte enten bare raigras eller raigras i blanding med belgvekster. Her må det ofte investeres i ekstra såfrøaggregat, noe som øker investeringskostnadene for denne metoden. Samtidig viser forsøk (Bøe mfl., 2019) at fangvekster sådd samtidig med kornet (undersådd) kan medføre noe høyere avlingsreduksjon enn fangvekster sådd like før eller etter høsting av kornet. Kostnadene for undersådde fangvekster om våren er beregnet til 103,4 kr/daa inkludert en estimert avlingsreduksjon på 3 %. I tillegg kommer eventuelle investeringskostnader av såfrøaggregat (Bøe mfl., 2019).



Bilde 20: Såing av fangvekst ved tre- blad stadiet (Bilde. T. Seehusen)

Når fangvekster såes før tresking om høsten brukes ofte sentrifugalspreder eller vanlig såmaskin, noe de fleste kornprodusentene har tilgang til selv, og da blir kostnader for selve etableringen noe mindre (Bøe mfl., 2019). Samtidig brukes det gjerne en blanding av for eksempel vikker, oljereddik og honningurt som har høyere frøkostnader og krever høyere såmengde (Bøe mfl., 2019). På basis av dette ble kostnadene for denne etableringsmetoden beregnet til 165 kr/daa med en avlingsreduksjon på 1 %. For begge etableringsmetoder gjelder at kostnadene må sette opp mot tilskudd for å regne på lønnsomhet. Se Bøe mfl. (2019) for flere detaljer.

8.7 Presisjonslandbruk

Presisjonslandbruk handler om å tilpasse behandlingen av jord og vekst etter behovet. Ved å ta i bruk teknologi for presisjonsjordbruk kan man redusere og/eller optimalisere bruken av innsatsfaktorer ved

hjelp av detaljert informasjon om jordas og veksternes tilstand og behov (Korsaeth mfl., 2019). Analyser viser at investering i nye redskap og teknologier kan føre til bedre utnyttelse av innsatsfaktorene, bidra til å opprettholde eller øke avlingsnivået samt å redusere negative miljøkonsekvenser. Det norske landbruket er preget av forholdsvis små arealer med en ikke-optimal utforming. Det fører til at ikke alle teknologier som egner seg på kontinentet fungerer like bra i Norge. Samtidig kan det heterogene landskapet med forholdsvis små enheter dra svært god nytte av mer stedsspesifikk agronomi (Seehusen mfl., 2022). Teknologisk utvikling gjør det mulig med bedre areal kartlegging og gir mulighet for å styre maskinene og tilpasse både arbeidsintensiteten og tildeling best mulig til behovet.

Investering i ny og mer avansert teknologi vil kunne hjelpe til å redusere jordarbeidingsintensiteten ytterligere (Kowalewsky, 2009). En overgang til mer behovstilpasset, stedsspesifikk jordarbeiding på de områdene som har et løsningsbehov, for eksempel vendeteiger, vil redusere behovet for jordarbeiding på resten av arealene. Det vil redusere antall overkjøringer og redusere fare for jordpakking (Seehusen, 2019) og medfører store besparelser (www.rkl-info.de). Også innenfor plantevern finnes det et stort potensial i å tilpasse sprøytingen bedre til det faktiske behovet og redusere bruk av plantevernmidler betydelig (Mahlein, 2016).

9 Forskningsbehov

Dagens dyrkingspraksis fører til nedgang i mengde organisk materiale i jorda og til en redusert jordhelse. Samtidig holder ikke avlingsutviklingen tritt med økende nasjonale behov. Tradisjonell praksis har mislyktes i å opprettholde jordas produksjonsevne og sikre god jordhelse på kornarealene. Det er derfor viktig å utvikle og få utbredt nye bærekraftige strategier som sikrer gode avlinger av høy kvalitet.

9.1 Halm

Det ligger et stort potensial i god utnyttelse av planterestene for å forbedre jordhelsen på kornareal. En skal likevel være klar over at slik forbedring er avhengig av at driftspraksisen vedvarer. Under praktiske forhold har en hatt en del begrensninger i kombinasjonen av minimal jordarbeiding, tilbakeføring av halm og bruk av fangvekst. Spesielt trenger en effektive strategier for å håndtere store mengder planterester i driftssystem der en reduserer jordarbeidingsintensiteten.

9.2 Fangvekst

Dyrking av fangvekster kan medføre både agronomiske utfordringer og ekstra kostnader. En spørreundersøkelse blant rundt 217 gårdbrukere (Frøseth & Seehusen, 2023) viser at det er stor interesse for bruk av fangvekster, men at mangel på kunnskap om dyrkingsstrategier, ugrasproblematikk, merarbeid og redusert lønnsomhet begrenser bruken i praksis. En bør se videre på hvordan en skal håndtere flerårig ugras i fangvekstene og hvilke etableringsstrategier som fungerer best i de ulike dyrkingsområder.

9.3 Kombinasjon av planterestene

Tilførsel av halm og bruk av fangvekster vil gi økt mikrobiell aktivitet, aggregering og større stabilitet i den sårbare og erosjonsutsatte overflatejorden og kan ha strukturdannende effekt nedover i profilet. Det har blitt forsket lite på hvordan en kombinasjon av nitrogenrik, grønn plantemasse og nitrogenfattig halm påvirker karbon- og nitrogendynamikken og det bør undersøkes om endinger i aggregering også påvirker stabiliteten til karbon som stammer fra halmen. En må undersøke hvordan store mengder biomasse på jordoverflaten påvirker mulighetene for redusert jordarbeiding om våren, og om enkle tiltak om høsten kan virke positivt i denne sammenheng.

9.4 Jordarbeiding og jordstruktur

En reduksjon av jordarbeidingsintensiteten til det helt nødvendige står sentralt i utformingen av nye strategier for korndyrking. Tidligere forsøk med redusert jordarbeidingsintensitet i Norge har gitt oss en viss forståelse av hvordan avlinger og utvalgte jordfysiske egenskaper påvirkes, men teknologien har forbedret seg betydelig i det siste. Det bør etableres nye forsøk med mål om å utnytte potensialet som ligger i ny maskinteknikk, optimal innstilling og best mulig bruk under praktiske forhold. Slike forsøk bør vare over så lang tid at målbare effekter på jord utvikles. Og de må gjennomføres på alle de viktigste jordartene for korndyrking.

Slike resultater vil bidra til å bane vei for morgendagens forvaltningspraksis i nasjonal kornproduksjon. Gode agronomiske strategier må balanseres med nasjonale strategier som opprettholdelse av jorda som produksjonsgrunnlag, nasjonale behov for en sikker og bærekraftig produksjon av både mat og fôr av høy kvalitet og internasjonale forpliktelser når det gjelder karbonlagring i jordsmonnet, klimagassutslipp og næringstap i kyst- og marine økosystemer. Slik kan gårdbrukeren få hjelp til sitt valg mellom økonomi, bærekraft og miljøeffekter samt til investering i nye maskiner og moderne utstyr.

9.5 Erosjon

Dagens regelverk forutsetter en dekningsgrad > 30 % plantedekke for å være godkjent som redusert jordarbeiding, noe som i de fleste tilfellene utelukker grunn høstharving og dermed fører til utsatt nedbryting av planterestene. Det er interessant å se på effekten av en grunn nedmolding av planterestene (6 cm) der halmen fortsatt er god synlig, men mindre enn 30 % halmdekke har på erojongsrisikoen og i hvor vidt en slik halmbehandling kan begrense fare for erosjon og avrenning.

Det hadde vært nyttig å kunne kartlegge dekningsgrad og fordeling av planterestene ved hjelp av fjernanalyse for å deretter kunne tilpasse stedsspesifikke agronomiske tiltak, for eksempel jordarbeidingsintensiteten.

Økte kostnader for mineralgjødsel gjør det mer interessant med en bedre utnyttelse av næringsstoffene, særlig nitrogen, fra planterestene. Samtidig kan en frigjørelse av nitrogenet til tidspunkter der ikke plantene tar opp nitrogenet fører til økt avrenning og tap. Videre kan dårlig jordstruktur og redusert lufttilgang til jorda fører til tap av nitrogen som klimagass.

9.6 Organisk materiale

Karbonbinding i landbruksjord har blitt vurdert som en kostnadseffektiv og miljøvennlig strategi for å binde CO₂ og øke jordas fruktbarhet. Det er derfor viktig å kartlegge effekten av tilbakeføring av halm og bruk av fangvekst, og en eventuell kombinasjon av disse, på karbonlagringen i landbruksjord. Det mangler fortsatt data på hvordan ulike typer jordarbeiding, ulik innarbeiding og ulik behandlingen av biomassen påvirker nedbryting av planterestene i jorda og hva dette betyr for mengden karbon som lagres i jorda, både på kort og på lang sikt.

9.7 Plantevern

Redusert jordarbeiding og store mengder med planterester på overflaten kan øke overvintringen av soppsporer. Det er behov for å identifisere arter og sorter av både matplanter og fangvekster som kan bidra til å begrense overlevelse og oppformering av spesifikke sjukdomsfremkallende patogener i jord og halmrester, slik at dyrking av disse kan presenteres som en del av en integrert plantevernstrategi i korn. Videre vil det være nyttig å kartlegge hvilke plantearter og sorter som kan bidra til å redusere risikoen for oppformering av *Fusarium* i stubb og halmrester, slik at dyrking av utvalgte fangvekster kan presenteres som en del av en integrert bekjempelsesstrategi for *Fusarium* i korn.

Vi vet imidlertid lite om risiko for angrep av bladflekk i korn sådd med fangvekster i Norge, og det er ingen plantevernstrategier som er spesifikke for åkre med fangvekster.

Bruk av fangvekster i korn er vist å redusere veksten av frøugras, men vil trolig ikke undertrykke flerårige ugras tilstrekkelig. Det trengs mer kunnskap om fangvekster kan bidra til å redusere omfanget av ulike typer ugras og hvordan det kan kombineres med redusert jordarbeiding før det kan anbefales til dyrkerne. Vi antar at en kan si mye om hvordan nye typer redskap vil virke på ugraset ved å studere hvordan de skjærer og flytter jord, plantedeler og frø, men dette sett i sammenheng med f.eks. bruk av ulike typer/grad av fangvekster trengs å undersøkes nærmere.

Både minimal jordarbeiding og bruk av fangvekst er oftest basert på bruk av glyfosat som brukes for å bekjempe ugras dersom det ikke pløyes og for å avslutte veksten på fangvekstene. Det er en pågående diskusjon om glyfosat og dersom den skulle forbys trengs det nye strategier, enten andre kjemiske midler eller/og mekaniske tiltak for å erstatte den.

9.8 Økonomi

Kornproduksjonen i Norge er preget av anstrengt økonomi og dette virker avlingsbegrensende i seg selv. Det ligger et potensiale i å ta i bruk nytt utstyr (f.eks. innenfor presisjonslandbruk) og nye metoder (f.eks. strip till), men dårlig lønnsomhet reduserer gårdbrukerens muligheter til å ta investeringer.

Det er viktig å ikke bare ha fokus på kortvarige besparelser, men legge opp til helhetlige strategier som bidrar til forbedret produktivitet gjennom alle ledd. Mange av tiltakene som har positiv effekt på jordstrukturen (f.eks. direktesåing) krever endringer i hele dyrkingssystemet og virker først over tid.

Det er viktig at økonomiske beregninger omfatter alle de agronomiske tiltakene som inngår i lovende kombinasjoner av moderne teknologi, jordarbeidingsstrategier, fangvekster og planterester og belyser konsekvenser for så vel bonde som samfunn slik at det kan utvikles støtteordninger som dekker kostnader relatert spesifikt til samfunnsgoder.

10 Konklusjoner

Landbruksproduksjonen i Norge står foran store utfordringer. Klimaendringer, økende pris på innsatsfaktorene, målet om å øke matproduksjonen og strengere miljøkrav fører til et behov for høyere effektivitet og bedre utnyttelse av innsatsfaktorene.

Bedre jordstruktur, bedre jordhelse og økt andel organisk materiale i jorda er nøkkelfaktorer for oppnå målene om økt produktivitet og tilpasning til klimaendringen.

Som beskrevet i rapporten ligger det et stort potensial i å redusere jordarbeidingsintensiteten og beholde planterestene, men det trenges bedre innsikt i sammenhengene mellom agronomiske tiltak, nedbryting av halmen og konsekvenser for planteveksten for å kunne profitere mest mulig av planterestene og redusere mulige negative effekter på planteveksten og avling.

Samtidig trengs det målrettet forskning under norske forhold for legge til rette for morgendagens forvaltningspraksis i kornproduksjon. Gode strategier fra bøndernes syn må balanseres med nasjonale strategier: opprettholdelse av felles produksjonsressursgrunnlag (jord), nasjonale behov for en sikker og bærekraftig produksjon av mat av høy kvalitet og fôr, og internasjonale forpliktelser angående karbonlagring i jord, klimagassutslipp og tap av næringsstoffer til kyst- og marine økosystemer.

På regionalt nivå er det nødvendig med forsøksresultater og erfaringer om hvordan vi kan redusere erosjonsrisikoen på vanlige jordtyper og dermed hvordan miljøbelastningen kan minimeres og hvordan regionale subsidieordninger må utformes i fremtiden. Bedre jordstruktur og bedre jordhelse er viktige faktorer for å gjøre dagens produksjonssystemer mer robuste mot klimaendringen og er dermed en viktig tilpasningsstrategi.

På gårdsnivå trenger gårdbrukere veiledning i den daglige vurderingen mellom økonomi, jordbærekraft og miljøeffekter og bidra til investering i nye maskiner og endret agronomi.

Løsninger for å forbedre jordhelsen, opprettholde avlingsnivået og samtidig redusere miljøpåvirkningen av kornproduksjon er nødvendig både for gårdbrukere, forvaltningen og samfunnet.

Litteraturreferanse

- Abrahamsen, U. 2015. Forgrødens betydning for avling og kvalitet i vårhvete. *Jord- og Plantekultur 2015. Forsøk i korn, olje- og proteinvekster, engfrøavl og potet 2014*. Bioforsk, Fokus, vol. 10 (1), ss. 106-117
- Amoah, J.K.O., Amatya, D.M., Nnaji, S. 2013. Quantifying watershed surface depression storage: determination and application in a hydrologic model. *Hydrol. Process.*, 27, 2401–2413. DOI: 10.1002/hyp.9364.
- Angers, D.A., Eriksen-Hamel, N.S. 2008. Full-Inversion Tillage and Organic Carbon Distribution in Soil Profiles: A Meta-Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 72(5), 1370-1374.
- Angst, G., Mueller, K.E., Nierop, K.G.J., Simpson, M.J. 2021. Plant- or microbial-derived? A review on the molecular composition of stabilized soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 156, 108189.
- Aronsson, H., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Øgaard, A.F., Känkänen, H., Ulén, B. 2016. The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71, 1, 2016. DOI: 10.2489/jswc.71.1.41.
- Arvidsson J., Hillerström O., Keller T., Magnusson, M., Erikson, D. 2010. Dragkraftbehov och maskinkostnad för olika redskap och bearbeingsystem. In: Swedish University of Agricultural Sciences U, ed. *Rapporter från jordbearbeitingen*. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Auerswald, K., Fischer, F.K., Kistler, M., Treisch, M., Maier, H., Brandhuber, R. 2018. Behavior of farmers in regard to erosion by water as reflected by their farming practices. *Science of the Total Environment*, 613–614, 1–9.
- Bakker, M.M., Govers, G., Rounsevell, M.D.A. 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena*, 57, 55-76. DOI: 10.1016/j.catena.2003.07.002.
- Bakker, M.M., Govers, G., Jones, R.A., Rounsevell, M.D.A. 2007. The effect of soil erosion of Europe's crop yields. *Ecosystems*, 10, 1209-1219. DOI: 10.1007/s10021-007-9090-3.
- Barbieri, P., Starck, T., Voisin, A.S., Nesme, T. 2023. Biological nitrogen fixation of legumes crops under organic farming as driven by cropping management: A review. *Agricultural Systems*, 205, 103579. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103579>
- Bardalen, A., Rivedal, S., Aune, A., O' Toole, A., Walland, F., Silvennoinen, H., Sturite, I., Bøe, F., Rasse, D., Pettersen, I., Øygarden, L. 2018. Utslippsreduksjoner i norsk jordbruk. Kunnskapsstatus og tiltaksmuligheter. NIBIO Rapport 4(149) 2018. 84 s
- Belbo, H. 2011. Halm som biobrensel. In: *Landskap NIFSO*, ed. Rapport fra Skog og Landskap Ås: Norsk Institutt for Skog og Landskap. (22/ 2011.)
- Bechmann, M., Kværnø, S., Øygarden, L., Riley, H., Børresen, T., Krogstad, T. 2011. Effekter av jordarbeiding på fosfortap – sammenstilling av resultater fra Nordiske forsøk. *Bioforsk rapport 6(61)*. <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2460401>
- Blanco-Canqui, H., Shaver, T.M., Lindquist, J.L., Shapiro, C.A., Elmore, R.W. 2015. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. *Agronomy Journal* 107, 2449-74.
- Bockus, W.W., Bowden, R.L., Hunger, R.M., Morrill, W.L., Murray, T.D., Smiley, R.W. 2010. *Compendium of Wheat Diseases and Pests*. Third edition edn. The American Phytopathological Society,

- Bolinder, M.A., Angers, D.A., Giroux, M., Laverdière, M.R. 1999. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays L.*). *Plant and Soil*, 215(1), 85-91.
- Bolinder, M.A., Crotty, F., Elsen, A., Frac, M., Kismányoky, T., Lipiec, J., Tits, M., Tóth, Z. 2020. The effect of crop residue, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews. *Mitigation and adaptation strategies for Global Change* 25, 929-52.
- Box, J.E., Bruce, R.R. 1996. The effect of surface cover on infiltration and soil erosion. In: *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. Marcel Dekker Inc., New York. ISBN: 9780824789848.
- Brandsæter, L.O., Olsmo, A., Tronsmo, A.M., Fykse, H. 2002. Study of freezing resistance of winter annual and biennial legumes at different developmental stages. *Crop Science*, 42, 437-443.
- Brandsæter, L.O., Goul Thomsen, M., Wærnhus, K., Fykse, H. 2012. Effects of repeated clover undersowing in spring cereals and stubble treatments in autumn on *Elymus repens*, *Sonchus arvensis* and *Cirsium arvense*. *Crop Protection* 32, 104-110.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.09.022>.
- Brandsæter, L.O., Mangerud, K., Helgheim, M., Berge, T.W. 2017. Control of perennial weeds in spring cereals through stubble cultivation and mouldboard ploughing during autumn or spring. *Crop Protection* 98: 16-23.
- Brandsæter, L.O., Mangerud, K., Hjerpaasen, V., Tørresen, K.S. 2021. Mekaniske tiltak med og uten reduserte doser av glyfosat som alternativ til tradisjonell glyfosatsprøyting i vårkorn. *NIBIO BOK 7 (1)*, 101-106.
- Bronick, C.J., Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3-22
- Budai, A., Rasse, D.P., Lagomarsino, A., Lerch, T.Z., Paruch, L. 2016. Biochar persistence, priming and microbial responses to pyrolysis temperature series. *Biology and Fertility of Soils*, 1-13.
- Busch, M., Schmidt, W., Brandhuber R., Bug, J. 2015. Vorsorge gegen Bodenerosion. In: *Landwirtschaft BFEU*, ed. Gute fachliche Praxis. Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Bonn, Germany: Bundesministerium fuer Ernaehrung und Landwirtschaft.
- Bye, A.S., Aarstad, P.A., Løvberget, A.I., Høie, H. 2012. Jordbruk og miljø - Tilstand og utvikling. Statistisk sentralbyrå, Rapport, vol 39. Statistisk sentralbyrå,
- Bøe, F., Bechmann, M., Øgaard, A.F., Sturite, I., Brandsæter L.O. 2019. Fangvekstenes økosystemtjenester - Kunnskapsstatus om effekten av fangvekster In: Nibio, ed. NIBIO report. NIBIO, 55. (5.)
- Børresen, T., Ekeberg, E., Riley, H. 1990. Planlegging av jordarbeiding på ulike jordtyper. In: *Landbruket SFF*, ed. Fagnytt Jordfag.
- Børresen, T. 1999. The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil and Tillage Research* 51, 91-102.
- Carter, M.R. 2005. Conservation tillage. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 306-311.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00270-8>.
- Cao, G., Zhang, X., Wang, Y., Zheng, F. 2008. Estimation of emissions from field burning of crop straw in China. *Chinese Science Bulletin* 53, 784-90.
- Chauhan, B.S., Gill, G.S., Preston, C. 2006. Tillage system effects on weed ecology, herbicide activity and persistence: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46, 1557-1570. DOI: 10.1071/EA05291 Ikke tilgjengelig full tekst

- Chen, S.Y, Zhang X.Y., Pei, D., Sun, H.Y., Chen, S.L. 2007. Effects on straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. *Annals of applied biology* 150, 261-8.
- Cherubin, M.R., Franchi, M.R.A., De Lima, R.P., De Moraes, M.T., Da Luz, F.B. 2021. Sugarcane straw effects on soil compaction susceptibility. *Soil and Tillage Research* 212, 105066.
- Cheshire, M.V., Bedrock, C.N., Williams, B.L., Christens, B.T., Thomsen, I., Alpendre, P. 1999. Effect of climate and soil type on the immobilization of nitrogen by decomposing straw in northern and southern Europe. *Biology and Fertility of Soils*, 28, 306–312. DOI: 10.1007/s003740050498
- Chihua, H., Fenli, Z., Darboux, F. 2002. How Surface Conditions Affect Sediment and Chemical Transport. 12th ISCO Conference, Beijing. Online available at: <https://tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeII/HowSurfaceConditionsAffect.pdf>. Last access: 29 January 2023.
- Christensen, B.T. 1985. Wheat and barley straw decomposition under field conditions: Effect of soil type and plant cover on weight loss, nitrogen and potassium content. *Soil Biology and Biochemistry*, 17, 5, 691-697.
- Christensen, B.T. 1986. Barley straw decomposition under field conditions: Effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 18, 5, 523-529.
- Crutchfield, C. 2016. Effect of land management practises on soil moisture retention. Urbana, Illinois, Master thesis.
- Davis A.S, Daedlow, D, Schutte, B.J., Westerman, P.R. 2011. Temporal scaling of episodic point estimates of seed predation to long-term predation rates. *Methods in Ecology and Evolution* 2, 682–690.
- Davies, K., Oxsley, S., Evans, A. 2006. Crop protection in reduced tillage systems. SAC technical Note, vol 580. SEERAD,
- Da Rocha Junior, P.R., Bhattarai, R., Alves Fernandes, R.B., Kalita, P.K., Vaz Andrade, F. 2016. Soil surface roughness under tillage practices and its consequences for water and sediment losses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16, 4, 1065–1074. <https://doi.org/10.4067/So718-95162016005000078>
- Dill-Macky, R., Jones, R.K. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. *Plant Disease* 84:71-76. doi:<https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.1.71>
- Duczek, L.J., Sutherland, K.A., Reed, S.L., Bailey, K.L., Lafond, G.P. 1999. Survival of leaf spot pathogens on crop residues of wheat and barley in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Pathology* (21:2) pp. 165-173
- Ekeberg, E., Riley, H., Njøs, A. 1985. Plogfri jordarbeiding til vårkorn: I. Avling og kveke. *Forskning og forsøk i landbruket* 36, 53-9.
- Engelhart-Bergsjø, H., Økland, M.S., Galleberg, O. 2022. Regionale miljøkrav for jordbruket i Oslo og Viken er nå bestemt
- Eichhorn, H. 1999. Landtechnik. Stuttgart, Germany: Ulmer Verlag.
- Eidem, B. 2020. Årsforbruk av biodiesel og annet flytende drivstoff i norsk landbruk. In: *Ruralis*, ed. *Ruralis utredning*.
- EU comission 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:l28181>)

- Faucon, M.P., Houben, D., Lambers, H. 2017. Plant functional traits: Soil and Ecosystem services. *Trends in Plant Science* 22, 385-94.
- Fernandez, M.R, Selles, F., Gehl, D., DePauw, R.M., Zentner, R.P. 2005. Crop production factors associated with Fusarium Head Blight in spring wheat in Eastern Saskatchewan. *Crop Science* 45 (5):1908
- Ficke, A., Dieseth, J.A., Kim, M.O., Lillemo, M. 2018a. Bladsjukdommer i norsk hvete. Forekomst, betydning og tiltak. *Jord- og Plantekultur* 2018. Forsøk i korn, olje- og proteinvekster, engfrøavl og potet 2017. NIBIO Bok 4 (1), s. 108-115
- Ficke, A., Cowger, C., Bergstrom, G., Brodal, G. 2018b. Understanding yield loss and pathogen biology to improve disease management: Septoria nodorum blotch-a case study in wheat. *Plant Disease*, 102(4), 696–707
- Filipović, D., Košutić, S., Gospodarić, Z. 2004. Influence of different soil tillage systems on fuel consumption, labour requirement and yield in maize and winter wheat production. *Agriculture* 10, 17-23.
- Fløystad, K.G. 2013. Biovarme for folk og dyr - kostnader og brukererfaringer fra eiere av mindre fyringsanlegg med flis, ved eller halm. Ås: NMBU, Master.
- Frielinghaus, M., Brandhuber, R., Demmel, M., Koch, H. J., Brunotte, J., Gullich, P., Schmidt, W.A. 2002. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Erosion, Kap. 4: Vorsorge gegen Bodenerosion. Online available at: https://lzbw.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-1310894553/MLR.LEL/PB5Documents/mlr/pdf/v/Vorsorge_Bodenschadverdichtungen_Bodenerosion.pdf?attachment=true, last access 30 January 2023.
- Frøseth, R.B, Seehusen, T. 2023. Fangvekster: motivasjon og erfaringer. In: Nibio, ed. *Jord og plantekultur 2023*. In: Strand E (ed) *Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2022*, vol 1. *Jord og Plantekultur*, vol 9. NIBIO Gollner G., Friedel J.K., Wohlmüt M.L., Surböck A. 2020. Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Trockengebiet Österreichs - macht reduzierte Bodenbearbeitung den Bodenklimafitter? In: Austria B, ed. Wien, Austria: Bio Austria.
- Graf, F., Frei, M. 2013. Soil aggregate stability related to soil density, root length, and mycorrhiza using site-specific *Alnus incana* and *melanogaster variegatus* s.l. *Ecological Engineering* 57, 314-23.
- Graves, A.R., Morris, J., Deeks, L.K., Rickson, R.J, Kibblewhite, M.G., Harris, J.A., Farewell, T.S., Truckle, I. 2015. The total costs of soil degradation in England and Wales. *Ecological Economics* 119, 399-413.
- Guenet, B., Gabrielle, B., Chenu, C., Arrouays, D., Balesdent, J., Bernoux, M., Bruni, E., Caliman, J.P., Cardinael, R., Chen, S., Ciais, P., Desbois, D., Fouche, J., Frank, S., Henault, C., Lugato, E., Naipal, V., Nesme, T., Obersteiner, M., Pellerin, S., Powlson, D.S., Rasse, D.P., Rees, F., Soussana, J.-F., Su, Y., Tian, H., Valin, H., Zhou, F. 2021. Can N₂O emissions offset the benefits from soil organic carbon storage? *Global Change Biology*, 27(2), 237-256.
- Guo, X.W., Fernando W.G.D., Bullock P., Sapirstein H. 2010. Quantifying cropping practises in relation to inoculum levels of *Fusarium graminearum* on crop stubble. *Plant Pathology* 59:1107-1113. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02353.x>
- Guul-Simonsen, F., Jørgensen, M.H., Have, H. Håkansson, I. 2002. Studies of plough design and ploughing relevant to conditions in Northern Europe. *Acta Agric. Scand. , Sect. B*, 52, 57-77.
- Haensel, M., Mueller, E., Schmidt, W. 2013. Optimierung der Stoppelbearbeitung im pfluglosen Ackerbau. *Schriftenreihe des LfULG*, 19/2013.

- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandbø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. 2015. Klima i Norge 2100. In: Nccs NK, ed. NCCS report 2/2015. 204.
- Hansen, S., Solberg, S.Ø. 2023. <https://www.agropub.no/fagartikler/hvor-mye-nitrogen-blir-tilgjengelig-ved-biologisk-nitrogenfiksering>
- Harper, S. 1985. Straw breakdown and toxin production in the field. In: Hardcastle J, ed. Straw, Soils and Science. London: AFRC, 10-2.
- Havstad, L.T, Aamlid, T.S., Henriksen, T.M. 2010. Decomposition of straw from herbage seed production: Effects of species, nutrient amendment and straw placement on C and N net mineralization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 60, 57-68.
- Henriksen, T.M., Breland, T.A. 1999. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1121-1134.
- Henriksen, T.M., Breland, T.A. 2002. Carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities as affected by contact between crop residues and soil. *Biol Fertil Soils*, 35, 41-48. DOI: 10.1007/s00374-001-0438-0.
- Hjelkrem, A.G., Aamot, H.U., Lillemo, M., Sørensen, E.S., Brodal, G., Russenes, A.L., Edwards, S.G., Hofgaard, I.S. 2022. Weather Patterns Associated with DON Levels in Norwegian Spring Oat Grain: A Functional Data Approach. *Plants* 11 (1:73):73. doi:10.3390/plants11010073
- Hoel, B., Abrahamsen, U., Strand, E., Åssveen, M., Stabbetorp, H. 2013. Tiltak for å forbedre avlingsutviklingen i norsk kornproduksjon. In: Bioforsk, ed. Bioforsk rapport 95.
- Hoesl, R., Strauss, P., 2016. Conservation tillage practices in the alpine forelands of Austria – Are they effective? *Catena*, 137, 44–51.
- Hofgaard, I.S., Seehusen, T., Aamot, H.U., Riley, H., Razzaghian, J., Le, V.H., Hjelkrem, A.G.R., Dill-Macky, R., Brodal, G. 2016a. Inoculum potential of *Fusarium* spp. relates to tillage and straw management in Norwegian fields of spring oats. *Frontiers in Microbiology* 7 (Article 556):1-15. doi:10.3389/fmicb.2016.00556
- Hofgaard, I.S, Aamot, H.U., Torp, T., Jestoi, M., Lattanzio, V.M.T., Klemsdal, S.S., Waalwijk, C., van der Lee, T., Brodal, G. 2016b. Associations between *Fusarium* species and mycotoxins in oats and spring wheat from farmers' fields in Norway over a six-year period. *World Mycotoxin Journal* 9 (3):365-378. doi:10.3920/WMJ2015.2003
- Hofgaard, I.S., Aamot, H.U., Seehusen, T., Riley, H., Dill-Macky, R., Holen, B.M., Brodal, G. 2020. *Fusarium* and mycotoxin content of harvested grain was not related to tillage intensity in Norwegian spring wheat fields. *World Mycotoxin Journal* 13 (4):473-486. doi:10.3920/WMJ2020.2575
- Hofgaard, I.S., Brodal, G., Almvik, M., Lillemo, M., Russenes, A.L., Edwards S.G., Aamot H.U. 2022. Different Resistance to DON versus HT2 + T2 Producers in Nordic Oat Varieties. *Toxins* 14 (5):313. doi:10.3390/toxins14050313
- Hofgaard, I.S., Seehusen, T., Aamot, H.U., Tørresen, K.S., Riley, H., Brodal, G. 2023. Effekt av redusert jordarbeiding på halmdekke, avling, ugras, *Fusarium* og mykotoksiner i havre. In: Strand E (ed) Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2022, vol 1. Jord og Plantekultur, vol 9. NIBIO
- Holmes, S.J.I., Colhoun, J. 1975. Straw-borne inoculum of *Septoria nodorum* and *S. tritici* in relation to incidence of diseases on wheat plants. *Plant Pathology* 24: 63-66

- Holthusen, D., Brandt, A.A., Reichert, J.M., Horn, R., Fleige, H., Zink, A. 2018. Soil functions and in situ stress distribution in subtropical soils as affected by land use, vehicle type, tire inflation pressure and plant residue removal. *Soil and Tillage Research* 184, 78-92.
- Hoorman, J.J, Sá, J., Reeder, R. 2011. The biology of soil compaction. *Soil Tillage Res* 68, 49-57.
- Hoorman, J.J., Sundermeier, A. 2017. Using Cover Crops to Improve Soil and Water Quality. In: University TOS, ed. www.extension.osu.edu. 6.
- Horn, R., Domzal, H., Slowinskajurkiewicz, A., Vanouwerkerk, C. 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil & Tillage Research* 35, 23-36.
- Horn, R., 2003. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. *Geoderma* 116, 77-88.
- Horn, R., Vossbrink, J., Peth, S., Becker, S. 2007. Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. *Forest Ecology and Management* 248, 56-63.
- Håkansson, I., Stenberg, M., Rydberg, T. 1998. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil & Tillage Research* 46, 209-23.
- Håkansson, S. 2003. *Weeds and Weed Management on Arable Land – an ecological approach*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.
- Inch, S.A., Gilbert, J. 2003. Survival of *Gibberella zeae* in *Fusarium*-damaged wheat kernels. *Plant Disease* 87:282-287
- Jalli, M., Huusela, E., Jalli, H., Kauppi, K., Niemi, M., Himanen, S., Jauhiainen, L. 2021. Effects of crop rotation on spring wheat yield and pest occurrence in different tillage systems: A multi-year experiment in Finnish growing conditions. *Frontiers in Sustainable Food Systems* (5), pp. 1-14
- Janzen, H.H., van Groenigen, K.J., Powlson, D.S., Schwinghamer, T., van Groenigen, J.W. 2022. Photosynthetic limits on carbon sequestration in croplands. *Geoderma*, 416, 115810.
- Jensen, J.L., Thomsen I.K., Eriksen J., Christensen B.T. 2021. Spring barley grown for decades with straw incorporation and cover crops: Effects on crop yields and N uptake. *Field Crops Research*, 270, 108228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108228>
- Johansen, N.S., Brurberg, M.B., Ficke, A., Kaczmarek-Derda, W., Nielsen, K.A.G., Ringselle, B., Schjøll, A.F., Skårn, M.N., Stensvand, A., Tørresen, K., Antzée-Hyllseth, H.A., Fajardo, M.B., Gauslå, E., Wærnhus, K. 2020. Plantevernmiddele resistens i norske jord- og hagebrukskulturer. Resultater fra kartlegging og overvåking i 2019 og vurdering av resistensrisiko. NIBIO rapport 6(159).
- Jordan, A., Zavala, L. M., Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena*, 81, 77–85. DOI: 10.1016/j.catena.2010.01.007
- Jordbruket B.F. 2022. Jordbrukets totalregnskap 2020 og 2021 - Budsjett 2022. In. Utredning. (1.)
- Kadziene, G., Suproniene, S., Auskalniene, O., Pranaitiene, S., Svegzda, P., Versulienė, A., Ceseviciene, J., Janusauskaite, D., Feiza, V. 2020. Tillage and cover crop influence on weed pressure and *Fusarium* infection in spring cereals. *Crop Protection* 127:104966. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104966>
- Kibblewhite, M.G, Ritz, K., Swift, M.J. 2007. Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 685–701.

- Kolberg, D., Persson, T., Mangerud, K., Riley, H. 2019. Impact of projected climate change on workability, attainable yield, profitability and farm mechanization in Norwegian spring cereals. *Soil & Tillage Research* 185, 122- 38.
- Korsæth, A., Henriksen, T. M., Bakken, L. R. 2002. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and nitrogen losses. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 789-799.
- Korsaeth, A. Lindgaard, H.J., Veidal, A., Asheim, L.J. 2019. Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge. In: Nibio, ed. Nibio rapport. NIBIO. (5.)
- Kouwenhoven, J.K., Perdok, U.D., Boer, J., Oomen, G.J.M. 2002. Soil management by shallow mouldboard ploughing in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 65, 125-39.
- Kowalewsky, H.H. 2009. Energieeinsparung bei der Bodenbearbeitung. In: Germany LN, ed. Hannover, Oldenburg: Landwirtschaftskammer Niedersachsen Germany, 4.
- Kravchenko, A.N., Guber, A.K., Razavi, B.S., Koestel, J., Quigley, M.Y., Robertson, G.P., Kuzyakov, Y. 2019. Microbial spatial footprint as a driver of soil carbon stabilization. *Nature Communications*, 10(1), 3121.
- Kraksa, P., Andruszczak, S., Kwiecinska-Poppe, E., Palys, E. 2014. The effect of tillage systems and catch crops on the yield, grain quality and health of spring wheat. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 13 (1), 21-38
- Kriss, A.B., Paul, P.A., Madden, L.V. 2010. Relationship Between Yearly Fluctuations in Fusarium Head Blight Intensity and Environmental Variables: A Window-Pane Analysis. *Phytopathology* 100 (8):784-797
- Krupinsky, J.M., Bailey, K.M., McMullen, M.P., Gossen, B.D. 2002. Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal* 94:198-209
- Kværnø, S., Bechmann, M. 2010. Transport av jord og næringsstoffer i overflate- og grøftevann. Sammenstilling av resultater fra rutefelter og småfelter i Norge. *Bioforsk rapport* 5 (30). 76 s.
- Kværnø, S. H., Øygarden, L., Bechmann, M., Barneveld, R. 2020. Tiltak mot erosjon på jordbruksareal. Norsk Institutt for bioøkonomi, NIBIO POP, 6, 38. Online available at: https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2723843/NIBIO_POP_2020_6_38.pdf?sequence=4&isAllowed=y, last access 30 January 2023.
- Känkänen, H., Eriksson, C. 2007. Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield of spring barley. *European Journal of Agronomy*, 27, 25-34. DOI: 10.1016/j.eja.2007.01.010.
- Landschoot, S., Audenaert, K., Waegeman, W., Pycke, B., Bekaert, B., De Baets, B., Haesaert, G. 2011. Connection between primary Fusarium inoculum on gramineous weeds, crop residues and soil samples and the final population on wheat ears in Flanders, Belgium. *Crop Protection* 30 (10):1297-1305
- LDR – Landbruksdirektoratet. <https://www.landbruksdirektoratet.no/nb/statistikk-og-utviklingstrekk/miljostatistikk/avrenning>, siste tilgang 16.03.2023.
- Lehmann, J., Gaunt, J.M.R. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403-427.
- Lenc, L., Kwaśna, H., Sadowski, C., Grabowski, A. 2015. Microbiota in Wheat Roots, Rhizosphere and Soil in Crops Grown in Organic and Other Production Systems. *Journal of Phytopathology* 163 (4):245-263. doi:<https://doi.org/10.1111/jph.12313>

- Liu C., Lu M., Cui J., Li B., Fang C. 2014. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soil: a meta-analysis. *Global Change Biology* 20, 1366- 81.
- Liu, J., Macrae, M.L., Elliott, J.A., Baulch, H.M., Wilson, H.F., Kleinman, P.J.A. 2019. Impacts of Cover Crops and Crop Residues on Phosphorus Losses in Cold Climates: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 48, 850–868. DOI: 10.2134/jeq2019.03.0119.
- Lundekvam, H. 1997. Spesialgranskinger av erosjon, avrenning, P-tap og N-tap i rutefelt og småfelt ved Institutt for jord- og vannfag. *Jordforsk-rapport 6/97*. 69 s.
- Löfkvist, J. 2005. Modifying soil structure using plant roots. Uppsala: SLUpHd.
- Mahlein, A.K. 2016. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping. *Plant diseases* 100.
- Mangerud, K., Riley, H., Kolberg, D. 2017. Maskinkostnader og lagelighetskostnader i våronna. In: Nibio, ed.: NIBIO, 39. (3.)
- Mehra, L.K., Cowger, C., Weisz, R., Ojiambo, P.S. 2015. Quantifying the effects of wheat residue on severity of *Stagonospora nodorum* blotch and yield in winter wheat. *Phytopathology* (105:11) pp.1417-1426
- Melander, B., Holst, N., Rasmussen, I.A., Hansen, P.K. 2012. Direct control of perennial weeds between crops – implications for organic farming. *Crop Prot.* 40, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.04.029>
- Mohler, C.L. 1993. A Model of the Effects of Tillage on Emergence of Weed Seedlings. *Ecological Applications* 3 (1), 53-73. <https://doi.org/10.2307/1941792>
- Molteberg, B., Henriksen, T.M., Tangsvæn, J. 2004. Bruk av gras som fangvekster i korn. In: Bioforsk, ed. Grønn kunnskap. 1-57. (8.)
- Moitzi, G., Weingartmann, H., Boxberger, J. 2006. Effects of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. In. *Energy Efficiency and Agricultural Engineering- International Scientific Conference*. Rousse, Belgia, 7.
- Mulumba, L.N., Lal, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 98, 106-111. DOI: 10.1016/j.still.2007.10.011.
- Nesme, T., Obersteiner, M., Pellerin, S., Powlson, D.S., Rasse, D.P., Rees, F., Soussana, J.-F., Su, Y., Tian, H., Valin, H., Zhou, F. 2021. Can N₂O emissions offset the benefits from soil organic carbon storage? *Global Change Biology*, 27(2), 237-256.
- Nicoloso, R.S., Rice, C.W. 2021. Intensification of no-till agricultural systems: An opportunity for carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal*, 85(5), 1395-1409.
- Norberg, L., Aronsson, H. 2020. Effects of cover crops sown in autumn on N and P leaching. *Soil Use and Management*, 36, 200-211. DOI: 10.1111/sum.12565.
- Nouwakpo, S., Huang, C., Bowling, L., Owens, P., Wertz, M. 2021. Inferring sediment transport capacity from soil microtopography changes on a laboratory hillslope. *Water*, 13, 929. <https://doi.org/10.3390/w13070929>
- Obour, P.B., Jensen, J.L., Lamande, M, Watts, C.W., Munkholm L.J. 2018. Soil organic matter widens the range of water content for tillage. *Soil & Tillage Research* 182, 57-65.
- Osborne, S.L., Schumacher, T.E., Humburg, D.S. 2008. Evaluation of Cover Crops to increase Corn Emergence, Yield and Field Trafficability. *Agricultural Journal* 3, 397-400.

- Oskarsen, H., Haraldsen, T.K., Aastveit, A.H., Myhr, K. 1996. The Kvithamar field lysimeter II. Pipe drainage, surface runoff and nutrient leaching. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10, 211–228.
- Pereyra, S.A., Dill-Macky, R. 2008. Colonization of the Residues of Diverse Plant Species by *Gibberella zeae* and Their Contribution to Fusarium Head Blight Inoculum. *Plant Disease* 92 (5):800-807
- Petersen, J., Haastруп, M., Knudsen, L., Olesen, J.E. 2010. Causes of yield stagnation in winter wheat in Denmark. In: Faculty of Agricultural Sciences AU, ed. DJF report No 147. 150.
- Plaszko, T., Szűcs, Z., Vasas, G., Gonda, S. 2021. Effects of Glucosinolate-Derived Isothiocyanates on Fungi: A Comprehensive Review on Direct Effects, Mechanisms, Structure-Activity Relationship Data and Possible Agricultural Applications. *Journal of Fungi* 7 (7):539. doi:<https://doi.org/10.3390/jof7070539>
- Poepflau, C., Don, A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P., Cerdà, A. 2016. Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.006>
- Prussin, A.J., Li Q., Malla, R., Ross, S.D., Schmale, D.G. 2014. Monitoring the Long-Distance Transport of *Fusarium graminearum* from Field-Scale Sources of Inoculum. *Plant Disease* 98 (4):504-511. doi:<https://doi.org/10.1094/PDIS-06-13-0664-RE>
- Rasse, D.P., Rumpel, C., Dignac, M.F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1-2), 341-356.
- Rasse, D.P., Dignac, M.F., Bahri, H., Rumpel, C., Mariotti, A., Chenu, C. 2006. Lignin turnover in an agricultural field: from plant residues to soil-protected fractions. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 530-538.
- Rasse D.P., Budai A., O’Toole A., Ma, X., Rumpel, C., Abiven, S. 2017. Persistence in soil of *Miscanthus* biochar in laboratory and field conditions. *PLOS ONE*, 12(9), e0184383.
- Rasse, D., Økland, I., Bárcena, T.G., Riley, H., Martinsen, V., Sturite, I., Joner, E., O’Toole, A., Øpstad, S., Cotti, T., Budai, A. 2019. Mulgheter og utfordringer for økt karbonbinding i jordbruksjord
- Rasmussen, K.J. 1999. Impact of ploughless tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53, 3-14.
- Refsgaard, K., Bechmann, M., Kvakkestad, V., Blankenberg, A.-G.B., Kristoffersen, A.Ø., Skøien, S. Veidal, A., 2013. Evaluering av tiltak mot fosfortap fra jordbruksarealer i Norge – Kost-effekt vurderinger. In: 2013-3. NR, ed.
- Rennie, D. A., Heimo, M. 1984. Soil and fertilizer-N transformations under simulated zero till: Effect of temperature regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 64, 1, 1-8.
- Riley, H. 1983. Redusert jordarbeiding og halmbehandling til vårkorn: I. Avlinger og ugrasmengder (in Norwegian). *Forskning og forsøk i landbruket* 34, 209-19.
- Riley, H. 1988a. Energi- og tidsforbruk ved forskjellige jordarbeidingssystem- Rapporter fra jordbearbetningsavd In: Slu, ed. NJF seminar 130 "reduert jordbearbejdning". Horsens, Danmark: SLU, 196-206.
- Riley, H., Bleken, M.A., Abrahamsen, S., Bergjord, A.K., Bakken, A.K. 2005. Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in the cool, wet climate of central Norway. *Soil & Tillage Research* 80: 79-93.

- Riley, H., Børresen, T., Lindemark, P.O. 2009. Recent yield results and trends over time with conservation tillage on clay loam and silt loam soils in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science* 59: 362-372.
- Riley, H., Lindemark, P.O. 2009. Kostnadseffektiv høstkorndyrking: Avlinger i storskalaforsøk 2003-2006 og langvarige jordarbeidingsforsøk 1998-2007. *Bioforsk FOKUS* 4(2) 66-7.
- Riley, H., Åssveen, M., Eltun, R., Todnem, J. 2012. Halm som Biobrensel. In: *Bioforsk*, ed. *Bioforsk Rapport*. Apelsvoll: Bioforsk, 58. kartlegging og overvåking i 2019 og vurdering av resistensrisiko. NIBIO Rapport 6 (159), 33 pp.
- Riley, H. 2014. Grain yields and soil properties on loam soil after three decades with conservation tillage in southeast Norway. *Acta Agric. Scand. , Sect. B. ,*
- Riley, H. 2016. Tillage timeliness for spring cereals in Norway. In: *Nibio*, ed. *Nibio rapport*. NIBIO, 67. (2.)
- Ringselle, B., Bergkvist, G., Aronsson, H., Andersson, L. 2015. Under - sown cover crops and post - harvest mowing as measures to control *Elymus repens*. *Weed Research* 55, 309-319. DOI: 10.1111/wre.12144
- Roberts, H.A., Roberts, P.M. 1973. Emergence and longevity of seeds of annual weeds in cultivated and undisturbed soil. *Journal of Applied Ecology* 10, 133-143.
- Safa, M., Samarasinghe, S., Mohssen, M. 2010. Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New- Zealand. *Energy* 35, 5400-5.
- Sarauski, E., Buragiene, S., Romaneckas, K., Sakalauskas, A., Jasinskas, A., Vaiciukevicius, E., Karayel, D. 2012. Working time, fuel consumption and economic analysis of different tillage and sowing systems in Lithuania. In. 11th International Scientific Conference, Engineering for rural development, Proceedings, Vol. 11. Jelgava, Lithuania, 7. (11.)
- Schjønning, P. 1986. Incorporation of straw in continuous spring barley. I. Effect of soil type, stubble tillage and nitrogen fertilization on straw influence on grain yield. (På dansk; Nedmuldning af halm ved ensidig dyrkning af vårbyg. I. Jordtypens, stubbearbejdningens og kvælstofgødsningens betydning for halmens indflydelse på udbyttet) *Tidsskrift for Planteavl*, 90, 133-140.
- Shi, Z.H., Yue, B. J., Wang, L., Fang, N.F., Wang, D., Wu, F.Z. 2013. Effects of mulch cover rate on interrill erosion processes and the size selectivity of eroded sediment on steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 77, 257-267. DOI: 10.2136/sssaj2012.0273.
- Schipanski, M.E, Barbercheck, M., Douglas, M.R., Denise M. Haider, F.K., Kaye, J.P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J., White, C. 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems* 125, 12-22.
- Seehusen, T. 2004. Systemvergleich verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte zur konservierenden Bodenbearbeitung. Master thesis, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- Seehusen, T., Riley, H., Riggert, R., Fleige, H., Børresen, T., Horn, R., Zink, A. 2014. Traffic- induced soil compaction during manure spreading in spring in South-East Norway. *Acta Agric. Scand. , Sect. B*, 64, 220-34.
- Seehusen, T., Hofgaard, I.S., Tørresen, K.S., Riley, H. 2016a. Residue cover, soil structure, weed infestation and spring cereal yields as affected by tillage and straw management on three soils in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil & Plant Science*. 67(2), 93-109. <https://doi.org/10.1080 /09064710.2016.1221987>.

- Seehusen, T., Waalen, W., Hoel, B., Uhlen, A.K., Persson, T., Strand, E. 2016b. Landbruket i møte med klimaendringen - Effekter av endret klima og behov for tilpasninger- norsk kornproduksjon - Vedlegg til hovedrapporten
- Seehusen, T. 2019. Effekt av halmbehandling og jordarbeiding på dekningsgrad av halmen og på avling. In: Strand E (ed) Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2018, vol 1. Jord og Plantekultur, vol 5. NIBIO
- Seehusen, T., Uhlen, A.K. 2019. Analyses of Yield Gaps for the production of wheat and barley in Norway. In: Nibio, ed. NIBIO rapport. (5.)
- Seehusen, T., Riggert, R., Fleige, H., Horn, R., Riley, H. 2019. Soil compaction and stress propagation after different wheeling intensities on a silt soil in South-East Norway. *Acta Agric. Scand. , Sect. B*, 69, 343-55.
- Seehusen, T., Henriksen, T.M. 2020. Effekt av halmbehandling og jordarbeiding på nedbryting av halm. *Nibio- Jord og plantekultur* 6, 110-3.
- Seehusen, T. 2022. Muligheter for å løse opp pakkeskader under plogsjiktet ved hjelp av planterøtter. *Nibio-Jord- og plantekultur* 8 Issue 2 Pages 82-88 In: Strand E (ed) Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2021, vol 2. *Jord og Plantekultur*, vol 8. NIBIO
- Seehusen, T., Strand E., Svendgård-Stokke S., Nordskog B. 2022. Klimatilpasning av byggdyrking i Hedmark. In: Nibio, ed. *Pop. Ås*, 12. (8.)
- Seehusen, T., Kusnierek, K., Geipel, J., Balke Hveem, K. 2022. Kartlegging av Presisjonshektaren - Hvordan kartlegge et skifte som skal presisjonsdyrkes? In: Nibio, ed. NIBIO rapport. NIBIO, 30. (8.)
- Seehusen, T., Berger M., Haukås, T. 2023a. Mekanisk og biologisk jordløsning - er det lønnsomt? *Nibio- Jord og plantekultur* 9.
- Seehusen, T., Frøseth, R.B., Henriksen, T.M. 2023b. Vårønn i systemer med mye planterester. In: Nibio, ed. *Jord og plantekultur* 2023. NIBIO, 112-8. (9.)
- Skaalsveen, K., Ingram, J., Clarke, L.E. 2019. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review. *Soil & Tillage research*, 189, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.01.004>
- Skøien, S. E., Børrensen, T., Bechmann, M. 2012. Effect of tillage methods on soil erosion in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 62:sup2, 191-198. DOI: 10.1080/09064710.2012.736529.
- Smets, T., Poesen, J., Knapen, A. 2008a. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. *Earth-Science Reviews*, 89, 1–12.
- Smets, T., Poesen, J., Bochet, E. 2008b. Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water. *Progress in Physical Geography*, 32, 6, 654–677.
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil Tillage Res.* 118, 66–87. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.015.
- Stabbetorp, H. 2023. Dyrkingsomfang og avling i kornproduksjon. In: Strand E (ed) Forsøk i korn, olje- og belgvekster, engfrøavl og potet 2022, vol 1. *Jord og Plantekultur*, vol 9. NIBIO Stokes A., Atger C., Glen Bengough A., Fourcaud T., Sidle R.C. 2009. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant Soil* 324, 1-30.

- Stover, R.W., Francel, L.J., Jordahl, J.G. 1996. Tillage and fungicide management of foliar diseases in a spring wheat monoculture. *J Prod Agric* 9: 261-265
- Sturz, A.V., Carter, M.R., Johnston, H.W. 1997. A review of plant disease, pathogen interactions and microbial antagonism under conservation tillage in temperate humid agriculture. *Soil and Tillage Research* 41 (3):169-189. doi:10.1016/S0167-1987(96)01095-1
- Suffert, F., Sache, I., Lannou, C. 2011. Early stages of septoria tritici blotch epidemics of winter wheat: build-up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant pathology* 60, 166-177
- Suproniene, S., Kadziene, G., Irzykowski, W., Sneideris, D., Ivanauskas, A., Sakalauskas, S., Serbiak, P., Svegzda, P., Auskalniene, O., Jedryczka, M. 2019. Weed species within cereal crop rotations can serve as alternative hosts for *Fusarium graminearum* causing *Fusarium* head blight of wheat. *Fungal Ecology* 37:30-37
- Tastowe, F. 2023. Wie flach arbeiten? In: *Top Agrar*. 116-9. (4/2023.)
- Tejada, M., Hernandez, M.T., Garcia, C. 2009. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. *Soil and Tillage Research* 102, 109-17.
- Thomsen, I.K., Christensen, B. T. 1999. Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. *Soil Use and Management*, 15, 195-200.
- Thompson, S.E., Katul, G.G., Porporato, A. 2010. Role of microtopography in rainfall-runoff partitioning: An analysis using idealized geometry. *Water Resources Research*, 46, 7, 1–11. <https://doi.org/10.1029/2009WR008835>
- Thomsen, I.K., Olesen, J.E., Møller, H.B., Sørensen, P., Christensen, B.T. 2013. Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 58, 82-87.
- Thorup-Kristensen, K., Dresbøll, D.B. 2010. Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. *Soil Use and Management*, 26, 27-35. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00255.
- Tørresen, K.S., Skuterud, R. 2002. Effect of tillage on emergence and depletion of weed seeds in soil. *Proceedings 12th EWRS Symposium, Wageningen*, pp. 16-17.
- Tørresen, K.S., Skuterud, R., Tandsæther, H.J., Bredersen Hagemo, M. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yields. *Crop Protection* 22, 185-200.
- Tørresen, K.S., Hofgaard, I.S., Eklo, O.M., Netland, J., Brandsæter, L.O., Brodal, G., Elen, O., Ficke, A., Almvik, M., Bolli, R., Stenrød, M., Strand, E. 2012. Redusert jordarbeiding og konsekvenser for plantevern. *Bioforsk Rapport* 7(158), 67 pp.
- Tørresen, K.S., Skarbøvik, E., Kværnø, S., Bechmann, M., Stenrød, M., Eklo, O.M., Brodal, G., Hofgaard, I.S., Björkman, M., Riley, H., Kvakkestad, V., Refsgaard, K., Børresen, T., Dörsch, P., Stabbetorp, J., Strand, E. T. 2015. Effekter av ulik jordarbeiding i korn. *NIBIO POP* 1(5), 12 pp.
- Tørresen, K.S., Brandsæter, L.O., Netland, J., Berge, T., Ringselle, B., Strand, E. 2018. Alternativer til glyfosat i korn og grasmark, *NIBIO Rapport*, 4(79), NIBIO, Ås, Norway, p. 72. <http://hdl.handle.net/11250/2561440>
- Uhlen, G. 1973. The effects of ploughing in cereal straw on yields and soil properties. In: *Høgskole NL*, ed. *Melding*. 21. (52.)
- Uhlen, A.K., Børresen, T., Kværnø, S., Krogstad, T., Waalen, W., Strand, E., Bleken, M.A., Seehusen, T., Deelstra, J., Sundgren, T., Lillemo, M., Riley, H., Abrahamsen, S., Øygarden, L. 2017. Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis En vurdering av agronomiske

- tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen. In: Nibio, ed. NIBIO rapport. NIBIO, 47. (3.)
- Unger, P.W., Langdale, G.W., Papendick, R.I. 1988. Role of crop residue: Improving water conservation and use. . In: Hargrove WL, ed. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen. Madison, WI, USA: ASA Spec. Publ., 69-100. (51.)
- Unger, P.W., Kaspar, T.C. 1994. Soil compaction and root growth- a review. *Agronomy Journal* 86, 759-66.
- Valkama, E., Lemola, R., Kænkænen, H., Turtola, E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 203, 93-101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.023>
- Vagstad, N., Abrahamsen, U., Strand, E., Uhlen, A.K., Lund, H.J., Rognlien, A., Stuve, L.F., Stabbetorp, E.M.H., Mangerud, K., Solberg, H. 2013. Økt norsk kornproduksjon. Utfordringer og tiltak. In: Lmd, ed. Rapport fra ekspertgruppe til LMD. 39
- Veidal A., Refsgaard K. 2014. Økonomiske konsekvenser av landbrukstiltak I Vannområde Haldenvassdraget. In: Nilf, ed. Notat 2014-10. 61.
- Vennesland, B., Eid Hohle, A., Kjøstelsen, L., Ross Gobakken, L. 2013. Prosjektrapport Klimatre. Energiforbruk og kostnader – Skog og bioenergi. In. Rapport fra Skog og landskap (14/2013. .)
- Vleeshouwers, L.M., Kropff, M.J. 2000. Modelling field emergence patterns in arable weeds. *New Phytologist* 148, 445–457. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00773.x>
- Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Urbez-Torres, J., Hart, M. 2016. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agricultural. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 48
- Wei, Z., Ville-Petri Friman, Pommier, T., Geisen, S., Jousset, A., Shen, Q. 2020. Rhizosphere immunity: targeting the underground for sustainable plant health management. *Front Agr Sci Eng* 7 (3):317-328. doi:10.15302/j-fase-2020346
- Westbrook, A.S., Bhaskar, V., DiTommaso, A. 2022. Weed control and community composition in living mulch systems. *Weed Research* 62:12–23. DOI: 10.1111/wre.12511
- Wiermann, C., Horn, R. 2000. Effect of different tillage systems on the recovery of soil structure following a single compaction event.
- Williams, J.R., and Jones, D.G. 1973. Infection of grasses by *Septoria nodorum* and *S. tritici*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 60:355-358.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. U. S. Gov. Print, Washington, DC.
- Wølner, K., Sogn, L., Hauge, N.H. 1978. Omløpsforsøk på Bjørke, Hagan, Hellerud og Staur, 1951-1975. In. Forskning og forsøk i landbruket - supplementshefte 4. 313-61.

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.