

Effekten av mekanisk og biologisk jordløsning på jordstruktur og avling

Till Seehusen¹ & Annela Mordhorst²

¹NIBIO Korn og frøvekster, ²Institute for Plant Nutrition and Soil Sciences, CAU Kiel, Germany
till.seehusen@nibio.no

Innledning

Dårlig jordstruktur og utarming av jorda er viktige avlingsbegrensende faktorer i landbruksproduksjonen også i Norge (Uhlen *et al.* 2017). Kjøring med tunge maskiner under lite lagelige forhold fører til jordpakking i dybden og skadene må ansees som varige dersom det ikke settes i gang løsnende tiltak. Det er derfor stor interesse for strategier som kan bidra til å løse opp pakket jord også i dypere sjikt. Tidligere forsøk på leirjord viser at naturlige fysiske prosesser ikke har tilstrekkelig effekt til å løse opp pakket jord under plogsålen (Seehusen *et al.* 2021). Mekanisk jordløsning er heller ikke særlig effektivt, mest på grunn av svært kortvarig effekt og risiko for ytterligere pakking (Seehusen 2017 og 2021). Biologisk jordløsning ved hjelp av planterøtter har derimot tidligere vist seg å være en lovende strategi (Chen & Weil 2010) og forsøk med luserne har gitt gode resultater i norske forsøk (Seehusen 2022, denne boka). Utfordringer med luserne er at den må dyrkes over lengre tid for å etablere et effektivt rotsystem, noe som gjør denne type jordløsning svært kostbar hvis man ikke har mulighet for å selge avlingene. I regi av prosjektet OPTIKORN ble det anlagt en rekke flerårige forsøk

for å undersøke effekten av jordpakking, samt ulike strategier for å løse opp pakkeskader (både mekaniske og biologiske). I denne artikkelen presenteres i hvilken grad mekanisk jordløsning i kombinasjon med ulike vekster kan løsne pakket jord samt hvilke avlingseffekter dette gir.

Forsøksfelt

Forsøksfeltet det rapporteres fra ligger på leirjord (Stagnosol, 46 % leir i 30 cm dybde) på Øsaker. Det er et noe høyere leirinnhold enn det en finner i mye av den øvrige kornjorda på Østlandet. Halvparten av feltet ble pakket høsten 2018 ved å kjøre 4x hjul i hjul med traktor påmontert plog og frontvekt (totalvekt 7,5 t, hjullast ca. 2,6 t) under lagelige forhold. Våren 2019 og 2020 ble det sådd bygg og ulike frøblandinger i regi av NLR Øst. Såing av korn og gjødsling ble gjort som på åkeren rundt. På grunn av de jordlønende vekstene ble feltet ikke ugrassprøytet i forsøksperioden. Feltene ble høstet med forsøktresker og avlingene ble analysert for ulike kvalitetsparametere på Apelsvoll.



Bilde 1. Ulike redskaper til jordløsning som ble brukt i forsøket. Foto: Till Seehusen.

Jordarbeiding og jordløsning

Løsningen ble gjennomført våren 2019 med to ulike typer redskap. Noen av de pakkete rutene ble løsnet med jordløsner/ grubb (Kverneland CLG II) ned til 35 cm dybde (bilde 1). Denne metoden er basert på to separate arbeidsoperasjoner, løsning og påfølgende pløying. Noen ruter ble løsnet med plog og påmontert sålebryter, der plogen gikk ned til 25 cm og sålebryteren til 35 cm dybde. Denne metoden er basert på at løsning og pløying gjennomføres i samme arbeidsoperasjon. Beskrivelse av løsningsutstyret finnes i Seehusen (2021). Alle rutene i forsøket ble deretter pløyd samme dagen (Kverneland ES 85 med plogkropp 28, forplog og rulleskjær) med 25 cm arbeidsdybde før såing våren 2019. Feltet ble pløyd, men ikke løsnet våren 2020.

Planter til jordløsning

Sikori og raigras: En blanding av sikori (såmengde 250 g/daa) og raigras (600 g/daa) ble sådd inn i noen av kornrutene med forsøkssåmaskin direkte etter såing av kornet. Sikori har en kraftig



Bilde 2. Pionerblanding. Foto: TILL Seehusen.

pålerot (bilde 3a) mens raigras har forholdsvis grunt, men bredt rotsystem.

Strand 51 (pionerblanding) er en blanding av ettårige vekster som er designet til å løse og forbedre jordstrukturen samt ha en grønn gjødslingseffekt (bilde 2). Blandingen består av Vintervikke (Lodnevikke) (44 %), Italiensk raigras Fabio (20 %), Honningurt (18 %) og Blodkløver (18 %). Blandingen inneholder både planter med et dyptgående, sterk forgrenet rotsystem (blodkløver) og et grunnere rotsystem (raigras) som komplementerer hverandre for å oppnå best mulig effekt. Blandingen ble dyrket i reinbestand (såmengde 7000 g/daa).

Jordparametere

Jordtetthet: Pakking fører til at porene i jorda komprimeres, noe som fører til at tettheten øker. Økt jordtetthet kan bl.a. føre til redusert rotvekst og dårlige vekstvilkår for plantene.

Luftfylt porevolum gjenspeiler andelen store porer i jorda og er et av de viktigste kriterier for å bedømme jordstrukturen. Redusert lufttilgang kan føre til problemer for planterøttene og (mikro-) biologisk liv i jorda.

Vannmettet hydraulisk ledningsevne viser muligheten for at vann kan infiltrere gjennom vannmettet jord. Redusert infiltrasjon og vanntransport nedover i jorda kan føre til problemer med opptørking, reduserer antall dager som er lagelig for feltarbeid og kan gi redusert lengde på vekstsesongen. Jordas infiltrasjonsevne er derfor en svært viktig jordegenskap og blir enda viktigere i sammenheng med klimaendring og større nedbørsmengder.

Værdata i forsøksperioden

Tabell 1. Temperatur (°C) og nedbør (mm) i vekstperioden, normalverdier og avvik fra normalen (1961-1991)

Måned	Temperatur (°C)			Nedbør (mm)		
	Normal	2019	2020	Normal	2019	2020
April	4,6	+3,7	+2,5	42	-26,7	-12,9
Mai	10,4	+0,0	-0,2	58	+83,4	-24,7
Juni	14,6	+0,5	+3,5	72	+54,4	+74,3
Juli	16,7	+0,8	-1,8	73	-17,8	-34,1
August	15,6	+1,1	+1,4	83	+90,9	-59,3
September	11,4	+0,6	+1,5	94	+122,2	-46,9

Temperaturen gjennom forsøksperioden var høyere enn normalen, særlig i 2020. Nedbøren var høyere enn normalt i 2019. Sesongen 2020 var preget av to tørre perioder (i mai og seint på sommeren),

men med mye nedbør i juni (tabell 1). Det ble ikke registrert frost i 20 cm eller dypere i forsøksperioden (data ikke vist).

Resultater

Jordparametere i 10 cm dybde

Tabell 2. Resultater og standard feil for utvalgte jordparametere i 10 cm dybde på pakket og pløyd areal i 2019 og 2020 for de ulike vekstene. Bygg+ rs = kombinasjon av bygg og raigras og sikori. Vekstene ble dyrket i 2019. Ettervirkning i 2020

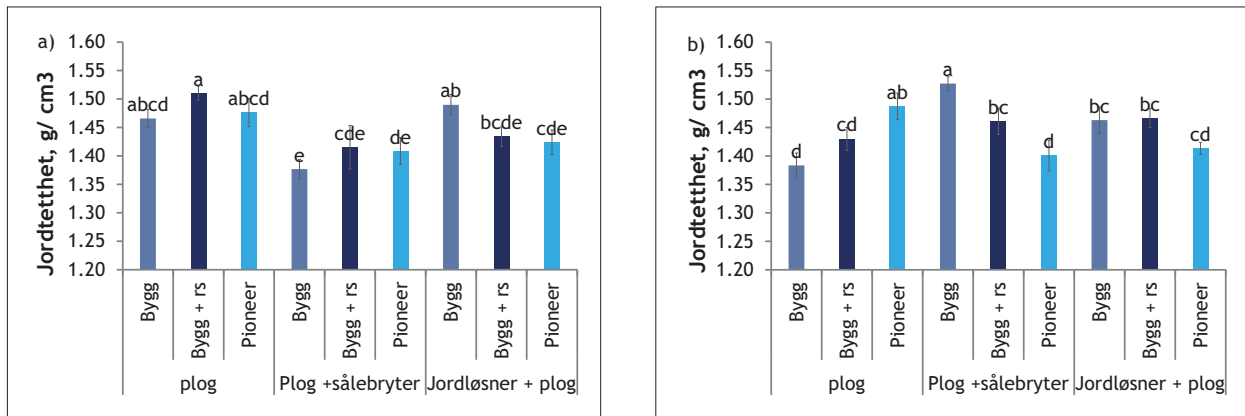
	Vekst	Jordtetthet			Luftfylt porevolum			Vannmettet Hydraulisk ledningsevne	
		g/cm ³	s.e. ¹⁾		Vol %	s.e.		cm/dag	
2019									
plog	Bygg	1,26	0,03	a	11,04	1,86	ab ²⁾	181,83	ab
	Bygg + rs	1,31	0,02	a	8,29	0,94	b	162,09	b
	Pioner	1,27	0,02	a	13,70	1,14	a	958,94	a
2020									
plog	Bygg	1,30	0,02	a	13,00	1,07	a	468,47	a
	Bygg + rs	1,35	0,02	a	11,92	0,77	a	177,22	ab
	Pioner	1,36	0,02	a	9,37	1,59	a	53,12	b

1) s.e. = standardfeil

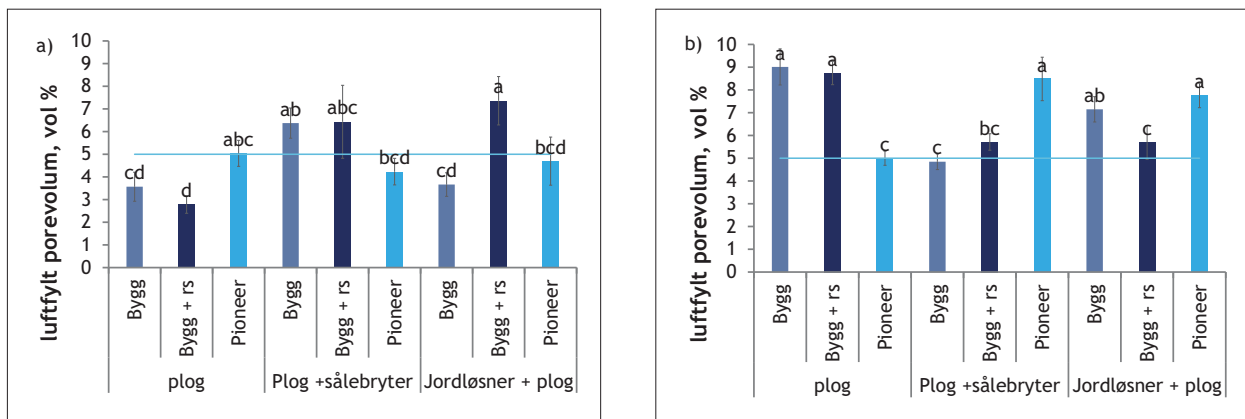
2) Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller

Det ble funnet få signifikante effekter av de ulike vekstene på jordstrukturen i 10 cm dybde. I 2019 førte dyrking av bygg i kombinasjon med raigras og sikori til en signifikant reduksjon av både luftfylt porevolum og vannmettet hydraulisk ledningsevne sammenliknet med dyrking av pionerblandingen (tabell 2). Året etter dyrking av de ulike vekstene (2020) ble det funnet en redusert ledningsevne etter både raigras og sikori og pionerblandingen sammenliknet med bygg som forgrøde.

Jordparameter i 30 cm dybde



Figur 1. Jordtetthet i 30 cm dybde i a) 2019 da behandlingene ble gjennomført og b) i 2020 da ettervirkning ble målt. Bygg+ rs= bygg i kombinasjon med raigras og sikori. Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller og vertikale linjer viser standardfeil.



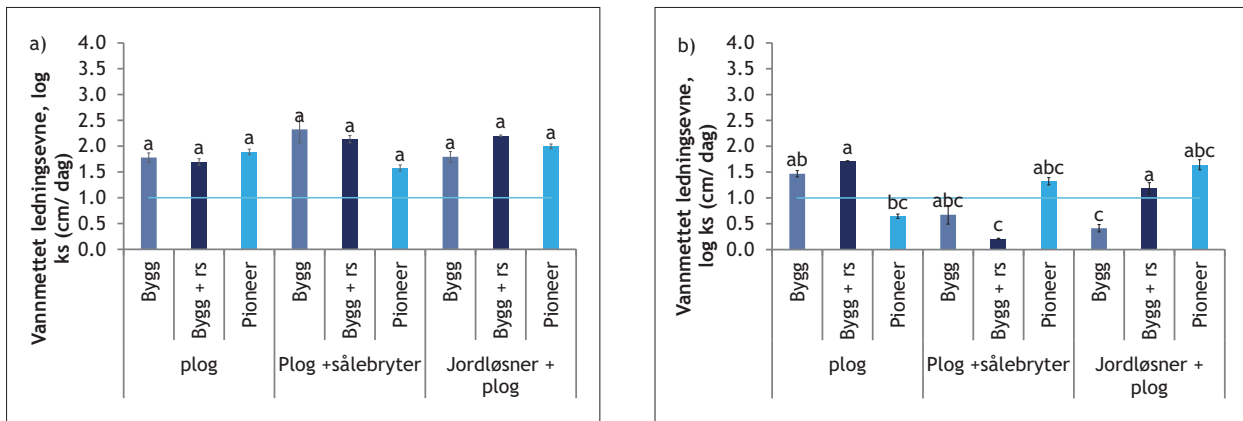
Figur 2. Luftfylt porevolum i 30 cm dybde i a) 2019 da behandlingene ble gjennomført og b) i 2020 da ettervirkning ble målt. Bygg+ rs= bygg i kombinasjon med raigras og sikori. Horizontal linje viser grenseverdi for god plantevekst. Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller og vertikale linjer viser standardfeil.

Jordløsning med plog og sålebryter har ført til reduksjon i jordtettheten i 2019 spesielt i kombinasjon med dyrking av bygg, raigras og sikori (figur 1a). Planterøttene hadde ikke positiv effekt på jordtettheten på pløyd areal, og det ble funnet en tendens til redusert jordtetthet etter kombinasjon av jordløsneren og planterøttene. I 2020 var effektene mindre tydelige (figur 1b). Lavest jordtetthet ble funnet i løsnete rutene som hadde pionerblanding som forgrøde.

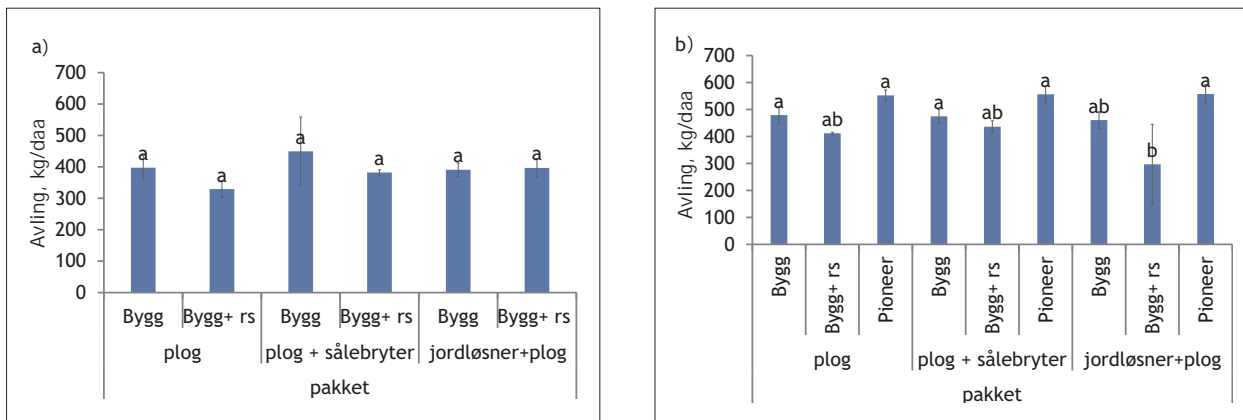
I 2019 ga pionerblanding høyest luftfylt porevolum på pløyd areal og lavest porevolum i kombinasjon med mekanisk jordløsning (figur 2a). Bygg i kombinasjon med sikori og raigras ga best resultat i kombinasjon med jordløsning, men kom dårligst ut på rutene med kun pløying. En del av verdiene var under grenseverdien for god plantevekst. I rutene med kun pløying ga

pionerblanding signifikant høyest porevolum som nådde opp til grenseverdien. Året etter (2020) var andelen store porer generelt høyere enn i 2019 (figur 2b). Pionerblanding i kombinasjon med pløying ga lavest porevolumet, mens pionerblanding hadde best effekt i kombinasjon med jordløsningen som ble gjennomført i 2019. I 2020 var ingen av verdiene (unntak forgrøde bygg i kombinasjon med plog og sålebryter) under grenseverdien for god plantevekst.

Det var stor variasjon i vannmettet hydraulisk ledningsevne (stor standardfeil) og det ble ikke funnet signifikante effekter av behandlingene i 2019 (figur 3a). Alle verdiene var over grenseverdien det året. Resultatene varierte mer i 2020 der flere behandlinger ga verdier under grense for god ledningsevne (figur 3b).



Figur 3. Vannmettet hydraulisk ledningsevne i 30 cm dybde i a) 2019 da behandlingene ble gjennomført og b) i 2020 da ettervirkning ble målt. Bygg + rs= bygg i kombinasjon med raigras og sikori. Horizontal linje viser grenseverdier for god plantevekst. Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller og vertikale linjer viser standardfeil.



Figur 4. a) Avling (kg/daa) i 2019 da behandlingen ble gjennomført og b) avling i 2020 da ettervirkning er målt. Ulike bokstaver viser signifikante forskjeller og vertikale linjer viser standardfeil.

Avling

Det ble ikke funnet signifikante effekter av behandlingene i 2019 på byggavlingen (figur 4a), men det var en tendens til at samdyrking av bygg, raigras og sikori førte til avlingsnedgang sammenliknet med bygg alene. Avlingsnivået var høyere og resultatene mer varierte i 2020 enn i 2019. I 2020 ble det funnet en tendens til reduserte avlinger etter bygg, raigras og sikori og økte avlinger etter pionerblandingen uavhengig av jordløsningen (figur 4b).

Diskusjon

Jordpakking og mekanisk jordløsning

En sammenlikning av rutene med bygg (figur 1-3) viser at effekten av mekanisk jordløsning er bl.a. avhengig av redskapene som brukes til jordløsning. Bruk av sålebryteren (bilde 1) har ført til en

signifikant reduksjon av jordtett og økt andel luftfylte porer mens bruk av jordløsneren ikke har hatt samme effekt. Dette kan ha sammenheng med den påfølgende pløying etter jordløsning har medført til en del pakking («recompaction») av det arealet som nettopp ble løsnet. Ved bruk av sålebryteren, der pløying gjennomføres i samme arbeidsoperasjon er denne faren mindre (Seehusen, upublisert). Løsningseffektene var stor sett kortvarige som rapportert tidligere (Seehusen 2021).

Effekt av planterøttene

Prinsippet biologisk jordløsning er basert på planterøtter som vokser gjennom tette jordlag og danner sekundærporer som kan øke luft- og vannutveksling i jorda og tilrettelegge for (rot-) vekst hos påfølgende vekster. Effektene av de ulike plantene på jordstrukturen i 30 cm dybde varierte (figur 1, 2 og 3). Det ble funnet en



Bilde 3. Røtter av sikori, a.) upakket, pløyd; b.) pakket, pløyd; c.) pakket, løsnet med jordløsner. Foto: Till Seehusen.

tendens at kombinasjon av mekanisk løsning og planterøttene har hatt positiv effekt på jordtetthet og luftfyltporevolum det første året (figur 1a og 2a) som passer til resultatene fra andre forsøk (Uteau *et al.* 2013, Whalley 2016).

Sikori har en dypgående pålerot (bilde 3a) som har vist seg til å være effektiv til å løse opp pakket jord (Uteau *et al.* 2013). På pakket, men ikke løsnet areal ble det i dette forsøket derimot funnet en del sikori planter som, istedenfor å vokse gjennom tette jordlag, vokste sidelengs og dermed ikke ga ønsket løsningseffekt (bilde 3b).

Røttene i nærheten av løsningsporene vokste etter porene (bilde 3c). Effekten av dette er avhengig av løsningsmetoden. Ved bruk av jordløsner (75 cm tindeavstand, bilde 1) er det bare rundt 30 % av arealet som løsnes, noe som fører til at kun noen av plantene har mulighet til å følge løsningsporene mens resten mest sannsynlig ikke får etablert dypgående røtter (bilde 3b). Ved bruk av sålebryteren er tindeavstanden mindre (ca. 35 cm) som fører til tettere løsningsspor (Tonn 2021) som kan bidra til at flere planterøtter kan vokse i sporene og har stabiliserende effekt som vist av Löfkvist (2005). Stor tindeavstand og få etablerte planter kan ha bidratt til at planterøttene ikke har hatt tydeligere effekt i forsøket.

Avling

Det ble registrert forholdsvis lave avlinger i 2019, mest grunnet vanskelige værforhold det året (tabell 1). Det ble funnet en tendens til redusert kornavling ved samdyrking med raigras og sikori. Avlingsnivået var høyere i 2020 og det ble funnet større variasjon i resultatene og en tendens til at kombinasjon med raigras og sikori som forgrøde reduserte avlingene mens pionerblanding førte til noe høyere avling.

Generelle betraktninger

Etablering av planter for biologisk jordløsning

For å lykkes med biologisk jordløsning kreves en plantebestand som dekker hele skiftet slik at hele arealet blir løsnet (Pulido-Moncado *et al.* 2020) og ikke bare flekkvis som i dette forsøket der dekningsgrad av sikori og raigras var maksimal 30 % (ikke vist). Etablering av en god bestand av jordlønende planter har vist seg vanskelig å få til i praksis. Her trengs det flere forsøk for å teste hvilke vekster og hvilke dyrkingsstrategier som egner seg de ulike stedene i Norge (se Frøseth 2022, denne boka). Dannelse av et dypgående rotsystem trenger tid og forsøk viser at det ofte trengs flere sesonger for å få tilstrekkelig effekt (Uteau *et al.* 2013), noe man ikke fanger opp i kortvarige forsøk som dette.

Nedbryting av planterøttene i jorda ta tid og dersom det tas jordprøver mens plantene vokser eller kort tid etter så er porene fortsatt fylt av planterøtter (Wahlström *et al.* 2021) som kan forklare at vi ikke fant større positiv effekt av planterøttene på vannmettet ledningsevne.

Samdyrking av ulike planter

Som rapportert tidligere (Molteberg *et al.* 2004) kan dyrking av ulike planter sammen med korn føre til negative avlingseffekter, noe som vi også så i resultatene i dette forsøket. En årsak ligger i konkurranseforholdet mellom kornplantene og de øvrige vekstene. En annen årsak kan være problemer med ugras. Det finnes få plantevernmidler som er egnet til å bruke i fangvekst og det ble registrert mye ugras i forsøksrutene gjennom forsøksperioden. I forsøksperioden ble det ikke registrert mange signifikante effekter av de jordlønende vekster på jordstrukturen som kunne kompensere for lavere avling. Likevel antas det at vekstskifte og/eller dyrking av jordlønende vekster har positive effekter på både jordstrukturen og økosystemet på sikt gjennom blant annet økt andel organisk material og større aggregatstabilitet.

Behandlingen av biomasse

En del av de aktuelle vekstene til biologisk jordløsning, f.eks. pionerblanding, etterlater mye biomasse som i de fleste tilfeller, og også i dette forsøket, gjør det nødvendig med pløying for å innarbeide planterestene og bekjempe ugras. Pløying er et intensivt inngrep i jorda som bryter kapillariteten og ødelegger en del av den gode jordstrukturen man kan ha oppnådd ved å dyrke f.eks. pionerblanding (bilde 2). Dette kan være medvirkende årsak til at det ikke ble funnet flere positive effekter av planterøttene i det øverste jordlaget (tabell 2) andre forsøksåret (2020), og at effektene, spesielt i det øverste jordlaget er kortvarige. I hvilken grad det er mulig å redusere jordarbeiding i dyrkingssystemer med mye biomasse skal undersøkes i et påfølgende prosjekt.

Kostnader

Som poengtert tidligere medfører de ulike strategier for jordløsning til en del kostnader, enten i form av økt diesel- og arbeidstidsbehov ved mekanisk jordløsning (Seehusen 2021), ingen avling ved dyrking av jordlønende vekster i reinbestand (Seehusen 2022, denne boka) eller avlingsnedgang på grunn av konkurranse mellom løsnende vekster og kornet (Seehusen 2019). Dette understreker

behovet for å utvikle og bruke strategier for å unngå jordpakking heller enn å satse på å løse opp pakkingen etterpå.

Litteratur

- Chen, G. & R. R. Weil (2010). Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant Soil* 331: 31-43.
- Löfkvist, J. (2005). Modifying soil structure using plant roots pHd, SLU.
- Molteberg, B., Henriksen, T.M. & Tangsvæen, J. (2004). Bruk av gras som fangvekster i korn. *Grønn kunnskap. Bioforsk*. 8: 1-57.
- Pulido-Moncada, M., Katuwal, S., Ren, L., Cornelis, W., & Munkholm, L.J. (2020). Impact of potential bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. *Geoderma* 363: 1-11.
- Seehusen, T. (2017). Pakking, løsning og jordarbeiding til vårkorn. *Jord og plantekultur 2017. NIBIO BOK 3(1)*: 145-148.
- Seehusen, T. (2021). Kan mekanisk jordløsning løse opp pakkeskader under plogsjiktet. *Jord- og plantekultur 2021. NIBIO BOK 7(1)*: 108-112.
- Seehusen, T., Mordhorst, A., Riggert, R., Fleige, H., Horn, R. & Riley, H. (2021). Subsoil compaction of a clay soil in South-East Norway and its amelioration after 5 years. *International Agrophysics* 35: 145-157.
- Tonn, J. (2021). Effekte biologischer und mechanischer Bodenlockerung auf bodenphysikalischer Parameter eines tonnigen Stauwasserbodens in Südnorwegen. Master, Christian-Albrecht-Universität zu Kiel.
- 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 U., & Øygarden, L. (2017). Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen. *NIBIO rapport. NIBIO. 3 (87), 2017*
- Uteau, D., Pagenkemper, S.K., Peth, S. & Horn, R (2013). Root and time dependent soil structure formation and its influence on gas transport in the soil. *Soil & Tillage Research* 132: 69-76.
- Wahlström, E. M., H. Kristensen, H.L., Thomsen, K.I., Labouriau, R., Pulido-Moncada, M., Aalborg Nielsen, J., & Munkholm, L.J. (2021). Subsoil compaction effect on spatio-temporal root growth, reuse of biopores and crop yield of spring barley. *European Journal of Agronomy* 123: 6.
- Whalley, W. R. (2016). Deep roots and soil structure. *Plant, Cell and Environment* 39: 1662- 1668.