



VIDENSYNTESE OM CONSERVATION AGRICULTURE

LARS J. MUNKHOLM, ELLY MØLLER HANSEN, BO MELANDER, PER KUDSK, LISE NISTRUP JØRGENSEN, GOSWIN J. HECKRATH, SABINE RAVNSKOV OG JØRGEN AAGAARD AXELSEN

DCA RAPPORT NR. 177 · OKTOBER 2020 · RÅDGIVNING



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



VIDENSYNTESE OM CONSERVATION AGRICULTURE

DCA RAPPORT NR. 177 · OKTOBER 2020 · RÅDGIVNING



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

Lars J. Munkholm¹, Elly Møller Hansen¹, Bo Melander¹, Per Kudsk, Lise Nistrup Jørgensen¹,
Goswin J. Heckrath¹, Sabine Ravnskov¹ og Jørgen Aagaard Axelsen²

Aarhus Universitet

¹Institut for Agroøkologi
Blichers Allé 20
8830 Tjele

²Institut for Bioscience
Vejlssøvej 25
8600 Silkeborg

VIDENSYNTSE OM CONSERVATION AGRICULTURE

Serietitel og nummer:	DCA rapport nr. 177
Rapporttype:	Rådgivning
Udgivelsesår:	Oktober 2020, 1. udgave, 1. oplag
Forfatter(e):	Lars J. Munkholm, Elly Møller Hansen, Bo Melander, Per Kudsk, Lise Nistrup Jørgensen, Goswin J. Heckrath, Sabine Ravnskov og Jørgen Aagaard Axelsen
Rekvirent:	Miljø- og Fødevareministeriet, Landbrugsstyrelsen
Finansiéring:	Rapporten er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening af Miljø- og Fødevareministeriet med underliggende styrelser 2019-2022
Faglig kommentering:	Professor Bent T. Christensen fra Institut for Agroøkologi og seniorrådgiver Morten T. Strandberg fra Institut for Bioscience
Ekstern kommentering:	Landbrugsstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet. Se LINK
Eksterne bidrag:	Se forord
Eksternt review:	Som en del af opgaven er der indsamlet og behandlet nye data, og rapporten præsenterer resultater, som ikke ved rapportens udgivelse har været i eksternt peer review. Ved senere publicering i tidsskrifter med eksternt peer review vil der derfor kunne forekomme ændringer.
Udgiver:	DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: dca.au.dk
Bedes citeret:	Munkholm, L. J., Hansen, E. M., Melander, B., Kudsk, P., Jørgensen, L. N., Heckrath, G. J., Ravnskov, S. og Axelsen, J. 2020 Vidensyntese om Conservation Agriculture. Aarhus Universitet, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 134 s. - DCA rapport nr. 177 https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport177.pdf
Layout:	Karina Rysholt Christensen, Institut for Agroøkologi
Fotos omslag:	Elly Møller Hansen og Thomas Birger Jensen, Institut for Agroøkologi
Tryk:	Digisource.dk
ISBN:	Trykt version 978-87-93998-26-1. Elektronisk version 978-87-93998-27-8
ISNN:	2245-1684
Sideantal:	128
Internetversion:	https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport177.pdf

Forord til Vidensyntese om Conservation Agriculture.

Denne vidensyntese er udarbejdet af en gruppe forskere ved Aarhus Universitet på basis af en bestilling fra Landbrugstyrelsen (LBST), Miljø-og Fødevareministeriet om at udarbejde "en videnssyntese om dyrkningsformen, som FAO betegner Conservation Agriculture (CA)". Som beskrevet i bestillingen er formålet med syntesen todelt: dels at producere en rapport, der samler tilgængelig viden om CA, og dels at fremstille en oversigt over klima- og miljøeffekter ved CA med tydelig indikation af, i hvilken retning effekterne peger (positiv, negativ, eller neutral). Dette angives af LBST som værende afgørende for bl.a. det fremtidige arbejde ift. regeringens målsætninger på området. Desuden angives formålet at være at fremme konsensus blandt forskere og interessenter omkring definitioner, effekter af CA og effekternes usikkerheder.

Der er taget udgangspunkt i litteratur fra Danmark og sammenlignelige lande – først og fremmest nordvest Europa. Hvor det har været relevant, er litteratur fra den øvrige verden inddraget. Litteraturen er blevet udvalgt af forfatterne på basis af litteratursøgning i relevante internationale databaser og fra kendskab til nationale rapporter og dokumenter, som ikke fremgår af disse databaser. I rapporten indgår også resultater fra ikke publiceret – primært dansk – forskning, og der er medtaget erfaringer fra praksis publiceret i tilgængelig litteratur og fra personlig kommunikation. Der er primært fokuseret på litteratur udkommet efter publicering af DJF rapport nr. 65 "Miljøeffekter af pløjefri dyrkning" (Olesen et al., 2002).

Rapporten er disponeret med udgangspunkt i forslag til disposition fra bestillingen. Det kan i den forbindelse nævnes, at Landbrugstyrelsen før igangsættelsen af videnssyntesen afholdt opstartsmøde for interessenter med henblik på at få input til projektet.

Efter færdiggørelse af videnssyntesen er der holdt et oplæg for Foreningen for Reduceret jordbearbejdning i Danmark (FRDK). Efter henvendelse fra FRDK er der foretaget en mindre faktuel tilretning i Tabel 3.2.

Rapporten er fagfællebedømt af Bent T. Christensen, Institut for Agroøkologi, AU og Morten Tune Strandberg, Institut for Bioscience, AU.

Niels Halberg,

Direktør, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indholdsfortegnelse

1	Generelt om Conservation Agriculture (CA).....	10
1.1	Definition CA	10
1.1.1	Minimal jordbearbejdning	12
1.1.2	Permanente jorddække med planterester eller levende planter	13
1.1.3	Alsidige sædskifter	13
1.2	Referencer.....	13
2	Dyrkningsformerne under CA inden for konventionelle og økologisk landbrug	14
2.1	Udbredelse af CA i Danmark	14
2.2	Udbredelse i vores nabolande og globalt	16
2.3	Udbytter, typiske sædskifter set i forhold til konventionel og økologisk dyrkning	18
2.3.1	Økologisk dyrkning.....	18
2.3.2	Typiske sædskifter og deres fordele og udfordringer.....	18
2.3.3	Udbytte i forhold til afgrøder.....	23
2.3.4	Jordtype og vejrforhold.....	24
2.3.5	Varighed af reduceret jordbearbejdning	25
2.4	Forskning vs. praksis	26
2.4.1	Generelle erfaringer fra forsøg og praksis	26
2.4.2	Udbytter i de langvarige danske (CENTS) forsøg	27
2.5	Referencer.....	31
3	Ukrudtseffekter og herbicidforbrug ved CA.....	36
3.1	Indledning	36
3.2	CA versus vendende jordbearbejdning (pløjning)	36
3.3	Frøprædation ved CA	36
3.4	Ukrudtsarter knyttet til CA.....	37
3.5	Sædskiftets betydning.....	38
3.6	Efterafgrøder og plantedække.....	39
3.7	Ukrudtsbekæmpelse i omlægningsperioden til CA	40
3.8	Herbicidforbrug ved pløjefri dyrkning.....	41
3.9	Referencer.....	45
4	Effekter på svampesygdomme og skadedyr af dyrkningsformerne indenfor CA	49
4.1	Svampesygdomme i relation til jordbearbejdning.....	49
4.1.1	Problemer med bladsygdomme.....	49

4.1.2	Problemer med akssygdomme	52
4.1.3	Jordbårne sygdomme.....	52
4.1.4	Diskussion af CA effekt på sygdomme	53
4.2	Skadedyr.....	53
4.2.1	Generelle effekter på jordboende skadedyr	53
4.2.2	Generelle effekter på nyttedyr og bestøvere	55
4.3	Referencer.....	56
5	Drivhusgaseffekter af dyrkningsformerne ved CA.....	60
5.1	Effekten på kulstoflagringen i jorden.....	60
5.2	CA effekt på lattergasemissionen	64
5.3	Udledning af CO ₂ fra brændstofforbrug.....	66
5.4	Referencer.....	66
6	Miljøeffekter af dyrkningsformerne under CA – tab af næringsstoffer.....	69
6.1	Effekt på udvaskning af kvælstof	69
6.1.1	Reduceret jordbearbejdning isoleret set	69
6.1.2	Permanente jorddække med planterester eller levende planter	71
6.2	Effekt på fosfortab	75
6.3	Referencer.....	78
7	Effekter på jordressourcen af dyrkningsformerne indenfor CA	85
7.1	Strukturstabilitet.....	85
7.2	Pakkede jordlag og jordstyrke	86
7.3	Kvalitet i forhold til planteetablering.....	87
7.4	Porøsitet, luftskifte og afdræning	88
7.5	Vandholdende evne og jordtemperatur.....	89
7.6	Jorderosion	90
7.6.1	Vanderosion	90
7.6.2	Vinderosion	92
7.7	Referencer.....	92
8	Biodiversitetseffekter af dyrkningsformerne under CA.....	97
8.1	Introduktion til biodiversitet og dens betydning i og på jorden	97
8.1.1	Mikroorganismer	97
8.1.2	Højere organismer	98
8.2	Effekt af CA dyrkningsformer på jordens mikrobielle biodiversitet	99

8.3	Effekt af CA dyrkningsformer på forekomst af mikrober i jorden	100
8.4	Effekt af CA dyrkningsformer på jordens mikrobielle funktion som økosystemservice til planteproduktionen	101
8.5	Effekt af CA på diversitet og tæthed (dyr og fugle)	102
8.5.1	Generelle effekter af CA.....	102
8.5.2	Effekt af minimal jordbearbejdning	104
8.5.3	Effekt af planterester	106
8.5.4	Effekt af efterafgrøder	107
8.6	Effekt af CA på funktion/økosystemtjenester (dyr og fugle)	107
8.6.1	Generelle effekter af CA.....	108
8.6.2	Effekt af minimal jordbearbejdning	109
8.6.3	Effekt af permanent jorddække med planterester eller levende planter	109
8.6.4	Effekt af alsidige sædskifter, samdyrkning af afgrøder og brug af efterafgrøder.....	109
8.7	Referencer.....	109
9	Opsummering og konklusion	119
9.1	Oversigt over CA effekter på drivhusgasser, miljø, jordressource og biodiversitet	119
9.1.1	Drivhusgasser	119
9.1.2	Miljøeffekter	120
9.1.3	Jordressourcen.....	121
9.1.4	Biodiversitet	122
9.2	CA med fokus på minimale klima- og miljøeffekter.....	125
9.3	Referencer.....	125
10	Perspektivering	127
10.1	Udfordringer, muligheder, svagheder og styrker ved dyrkningsformerne under CA eller variationer/delelementer deraf i Danmark	127
10.2	Forskningsbehov	128
10.3	Referencer.....	130

Liste over forkortelser

CA: Conservation Agriculture

CT: Conservation Tillage

DS: Direkte Såning

PL: Pløjning

RA: Regenerative Agriculture

RJ: Reduceret Jordbearbejdning

1. Generelt om Conservation Agriculture (CA)

Lars J. Munkholm, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

1.1 Definition CA

Conservation Agriculture (CA) beskriver et dyrkningssystem, der omfatter: 1. minimal jordbearbejdning, 2. permanent jorddække med planterester eller levende planter og 3. alsidige sædskifter og herunder samdyrkning af afgrøder og udbredt brug af efterafgrøder (Figur 1.1) (FAO 2017). CA er nært beslægtet med Conservation Tillage, som beskriver et system, som mindsker følsomheden over for vind- og vanderosion og indbefatter generelt, at der er minimum 30% dække med afgrøderester på jordoverfladen efter høst (Carter, 2005). CA adskiller sig således fra Conservation Tillage ved krav om alsidigt sædskifter og øget krav til permanent jorddække. I de senere år har der været en del opmærksomhed vedr. begrebet Regenerative Agriculture (RA), som har sin oprindelse ved Rodale Institute, USA (Rodale Institute 2014) set i forhold til økologisk jordbrug. De bærende principper er: 1. mere lukkede næringsstofkredsløb, 2. Større biodiversitet, 3. højere andel af flerårige planter og 4. større afhængighed af interne frem for eksterne ressourcer. Dyrkningselementerne for RA set i forhold til klima er meget sammenfaldende med CA (Conservation Tillage, efterafgrøder, efterladelse af planterester, alsidige sædskifter), men suppleret med specifik fokus på rodtybde, mykorrhiza svampe, kompost og kompleksitet i dyrkningssystemet (Rodale Institute 2014). I økologien er der ved implementering af CA behov for også at have fokus på centrale RA/økologiske dyrkningselementer som RA principperne 1. mere lukkede næringsstofkredsløb og 4. større afhængighed af interne frem for eksterne ressourcer.



Minimum mechanical soil disturbance: Minimum soil disturbance refers to low disturbance no-tillage and direct seeding. The disturbed area must be less than 15 cm wide or less than 25% of the cropped area (whichever is lower). There should be no periodic tillage that disturbs a greater area than the aforementioned limits. Strip tillage is allowed if the disturbed area is less than the set limits.



Permanent soil organic cover: Three categories are distinguished: 30-60%, >60-90% and >90% ground cover, measured immediately after the direct seeding operation. Area with less than 30% cover is not considered as CA.

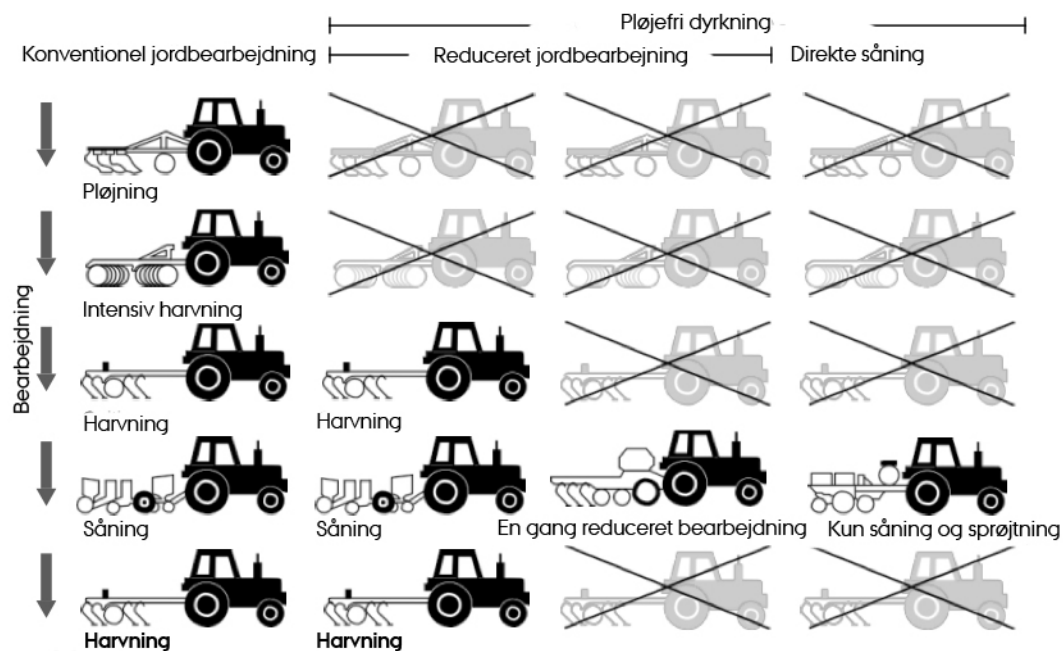


Species diversification: Rotation/association should involve at least 3 different crops. However, repetitive wheat, maize, or rice cropping is not an exclusion factor for the purpose of this data collection, but rotation/association is recorded where practiced.

Figur 1.1. Dyrkningselementerne ved Conservation Agriculture Principles (gengivet fra FAO factsheet on Conservation Agriculture (FAO 2017))

1.1.1 Minimal jordbearbejdning

Minimal jordbearbejdning er pløjefri dyrkning med en lav intensitet af jordbearbejdning i forhold til et konventionelt system med stubbearbejdning og pløjning. Ifølge FAO (FAO 2017) tilstræbes at anvende direkte såning (no-tillage) (figur 1.2) ved CA. Ved direkte såning etableres afgrøden uden forudgående jordbearbejdning før såning og ved minimal jordforstyrrelse ved såningen. FAO beskriver, at den maksimale tilladte jordforstyrrelse under CA som: "The disturbed area must be less than 15 cm wide or less than 25% of the cropped area (whichever is lower). Mechanical disturbance should be limited to the purpose of placing seed or fertilizer." (FAO 2017). Højere intensitet af jordbearbejdningen (sammenlignet med direkte såning) i form af reduceret jordbearbejdning kan ifølge andre kilder indgå som en del af CA (Farooq & Siddique 2015). Det kan praktiseres ved enten at foretage én eller flere overfladiske harvninger – typisk maks. 5-10 cm dybde – forud for såning. Traditionel jordbearbejdning under danske forhold består af pløjning (vendende jordbearbejdning) til 20-25 cm dybde, såbedstilberedning i 5-10 cm dybde og derefter såning. Pløjefri dyrkning kan også omfatte systemer med dybere ikke-vendende jordbearbejdning (10-30 cm dybde), som vil være for intensiv i forhold til definitionen af CA. I rapporten vil vi fokusere både på effekten af direkte såning og af reduceret jordbearbejdning med overfladiske harvninger – sammenlignet med pløjning.



Figur 1.2. Illustration af forskelle mellem konventionel jordbearbejdning med pløjning, reduceret jordbearbejdning og direkte såning. Pløjefri dyrkning inkluderer både reduceret jordbearbejdning og direkte såning – i figuren benævnt Conservation tillage. Fra Hallett & Bengough (2013).

1.1.2 Permanente jorddække med planterester eller levende planter

Dyrkningselementet "permanent soil organic cover" inkluderer dække af jorden med planterester og/eller afgrøder/efterafgrøder (FAO 2017). Umiddelbart efter såning skal jorddækket være minimum 30% for at mindske ukrudtsproblemer og risikoen for tilslemning og erosion, som beskrevet ovenfor for Conservation Tillage. Jorddække med planterester opnås typisk med halm og stubrester fra forudgående afgrøde eller nedvisnet efterafgrøde. Jorddække med levende planter sker i form af hovedafgrøde, efterafgrøder og mellemafgrøder. I rapporten vil vi fokusere på effekter af efterladelse af halm og efterafgrøder.

1.1.3 Alsidige sædskifter

CA dyrkningselementet Alsidige sædskifter indbefatter dyrkning af minimum tre forskellige afgrøder i sædskiftet (FAO 2017). Det betyder, at ensidige sædskifter med korn, majs, bælgsæd mm. ikke indgår som en del af CA. Kravet til mindst tre forskellige afgrøder er i tråd med "greening"-ordningen under EU Common Agricultural Policy (CAP) (https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/income-support/greening_en). Heraf fremgår, at et af kravene for at opnå EU arealstøtte er, at der dyrkes minimum tre afgrøder for landbrug over 30 ha og den dominerende afgrøde ikke må optage mere end 75% af det dyrkede areal. I denne rapport vil vi fokusere på effekten af alsidige vs. ensidige kornbaserede sædskifter.

1.2 Referencer

- Carter, M. R. (2005). Conservation Tillage. In: Hillel, D. (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Oxford: Elsevier
- FAO (2017) Conservation Agriculture. © FAO, 2017 I7480EN/1/06.17 - Revised version. <http://www.fao.org/3/a-i7480e.pdf>. Set maj 2020.
- Farooq M., Siddique K.H.M. (2015) Conservation Agriculture: Concepts, Brief History, and Impacts on Agricultural Systems. In: Farooq M, Siddique KHM (eds) Conservation Agriculture. Springer International Publishing, Cham, pp 3-17. doi:10.1007/978-3-319-11620-4_1
- Hallet, P. D. & Bengough, A. G. (2013). Managing the soil physical environment for plants. *Soil Conditions and Plant Growth*. Blackwell Publishing Ltd.
- Rodale_Institute (2014) Regenerative Organic Agriculture and Climate Change, A Down-to-Earth Solution to Global Warming. <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/rodale-white-paper.pdf>. Set maj 2020.

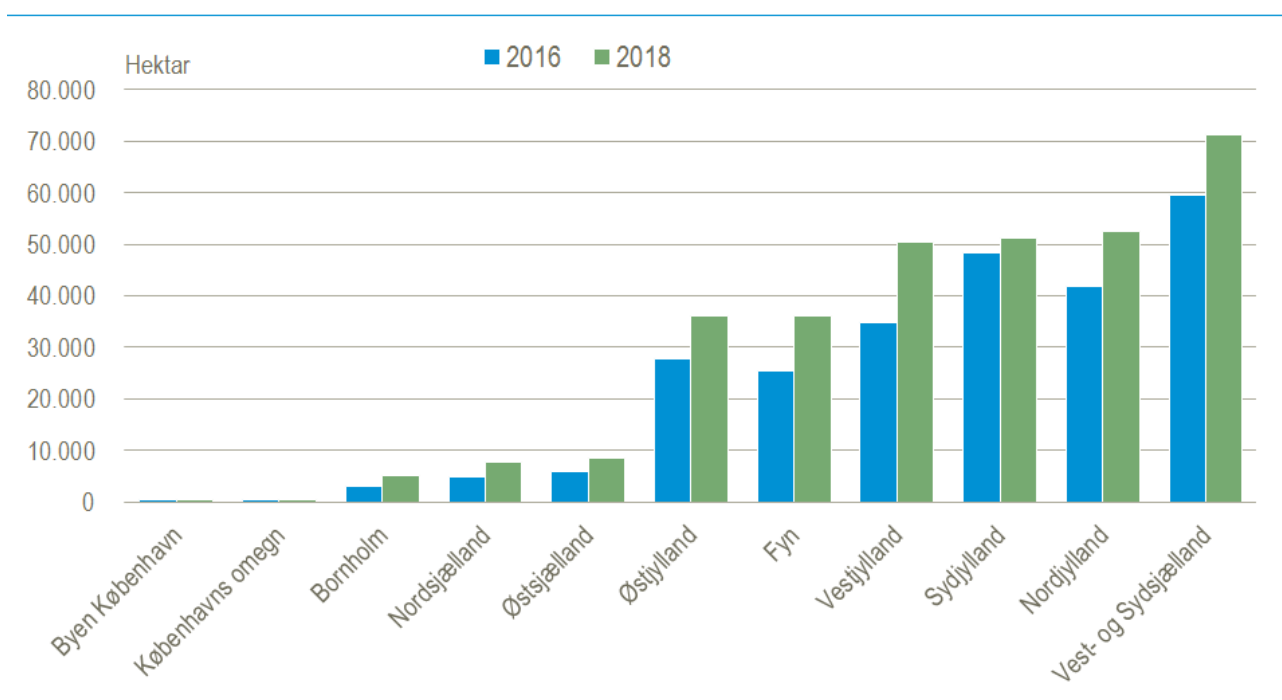
2 Dyrkningsformerne under CA inden for konventionelle og økologisk landbrug

Elly Møller Hansen, Lars J. Munkholm og Bo Melander, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

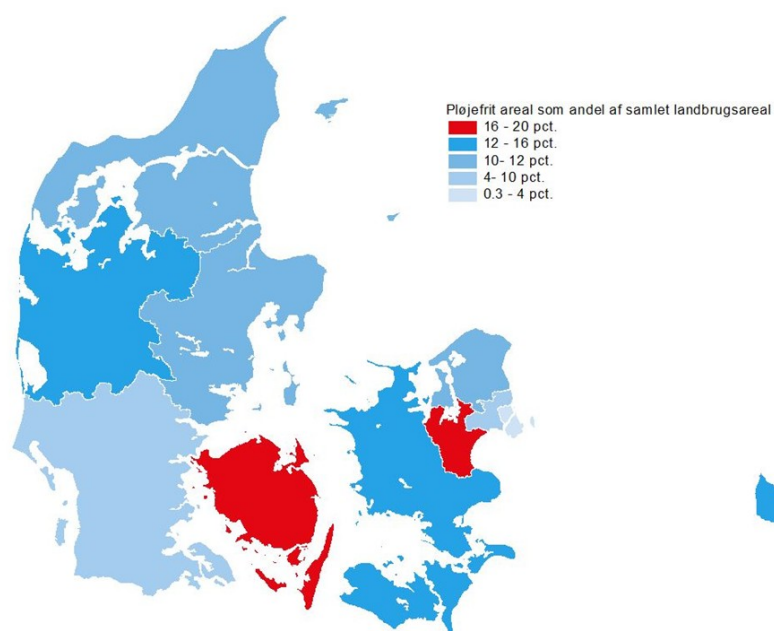
2.1 Udbredelse af CA i Danmark

Ifølge Danmarks statistik blev der i 2018 dyrket 317.865 ha med ikke vendende jordbearbejdning (pløjefri dyrkning) og 38.415 ha med minimal jordforstyrrelse (direkte såning) ud af et samlet dyrket areal på 2.632.432 ha (Danmarks Statistik, landbrugs- og gartneritællingen). Hvis arealet med afgrøder udenfor omdrift og græs indenfor omdriften fratrækkes, er der 1.948.724 ha, hvor der årligt etableres en afgrøde (potentielt pløjet areal). Arealet med hhv. reduceret jordbearbejdning og direkte såning udgør således ca. 16% og 2% af det årligt bearbejdede/tilsåede areal mens resten (1.592.444 ha) antages at være pløjet i 2018. Det betyder, at der i 2018 er max 2% af det dyrkede areal som dyrkes i følge CA retningslinjerne. De 2% af arealet med direkte såning opfylder sandsynligvis også kravene til alsidigt sædskifte (Landbrugsstyrelsen, 2020), mens det er mere usikkert om permanent jorddække med planterester eller levende afgrøder også har været gennemført.

Der praktiseres pløjefri dyrkning i alle dele af landet uden for København og omegn (figur 2.1). Det største areal findes i Vest- og Sydsjælland, hvor mere end 70.000 ha blev dyrket pløjefrit i 2018. Relativt set er pløjefri dyrkning mest udbredt i Østsjælland og på Fyn (>16%) efterfulgt af Bornholm, Vest- og Sydsjælland og Vestjylland (12-16%) (Figur 2.2). Den betydelige udbredelse i Østdanmark stemmer overens med, at det normalt angives at være lettest at praktisere pløjefri dyrkning på veldrænede lerholdige jorde (typisk JB4-8), "idet sandjord og jorde med et højt indhold af silt har lettere ved at pakke sammen. Det er lettest at opbygge og vedligeholde en god struktur på lerjord" (Andersen og Nielsen 2017). Men den betydelige udbredelse i Vest- og Nordjylland viser, at pløjefri dyrkning også vinder frem på de sandede jorde. Den typiske pløjefri landmand, er yngre og dyrker et større areal end gennemsnittet (Engmann 2019). Kun 2% (godt 6.000 ha) af det pløjefri areal blev dyrket økologisk i 2018. Det svarer også til omkring 2% af det økologiske areal i Danmark.



Figur 2.1. Areal med pløjefri dyrkning fordelt på landsdele i Danmark (Engmann 2019)



Figur 2.2. Den relative udbredelse af pløjefri dyrkning i Danmark (Engmann 2019).

2.2 Udbredelse i vores nabolande og globalt

Udbredelsen af direkte såning, som er antaget at svare til udbredelsen af CA, er sammenstillet af European Conservation Agriculture Federation (ECAF) på baggrund af nationale indberetninger til ECAF vedr. areal med direkte såning og EU statistikker vedr. areal i omdrift (ECAF 2020). Data fra vores nabolande er vist i tabel 2.1. Nye data vedr. areal med direkte såning er indføjet på basis af indberetninger ved ECAF's generalforsamling 2020 (Hans Henrik Pedersen, personlig meddelelse). Data fra Norge har vi ikke kunnet finde. Som det fremgår af tabellen har direkte såning opnået begrænset udbredelse (<5%) i vores nabolande med undtagelse af Finland og Storbritannien. I Finland har der været en lang tradition for direkte såning, men interessen er aftagende og særligt blandt de yngre landmænd. Derimod er interessen markant stigende i Storbritannien, hvor udbredelsen er steget fra 8,3 til 12,8% fra 2016 til 2019. En ny undersøgelse viser at det fortrinsvis er yngre, veluddannede planteavlere på større landbrug, som anvender pløjefri dyrkning i England (Alskaf et al. 2020), hvilket er i overensstemmelse med de danske resultater.

Tabel 2.1. Statistik vedrørende udbredelse af Conservation Agriculture i vores nabolande.

* Areal i omdrift angivet som for 2016.

Land	Areal med direkte såning	Areal i omdrift	Direkte såning - andel	År	Kilde
	1000 Ha		%		
Danmark	38,4	1.949	2,0	2018	Danmarks Statistik 2018
Sverige	15,8	2.325	0,7	2016	ECAF (2020)
Finland	200	2.165	9,2	2016	ECAF (2020)
	120	2.165*	5,5	2019	Hans Henrik Pedersen, personlig meddelelse
Holland	7	670	1,0	2016	ECAF (2020)
Belgien	0,3	613	0,0	2016	ECAF (2020)
Tyskland	146	10.904	1,3	2016	ECAF (2020)
Storbritannien	362	4.376	8,3	2016	ECAF (2020)
	562	4.376*	12,8	2019	Hans Henrik Pedersen, personlig meddelelse
Frankrig	300	17.167	1,7	2016	ECAF (2020)
	720	17.167*	4,2	2019	Hans Henrik Pedersen, personlig meddelelse

Globalt er interessen for CA (direkte såning) vokset stærkt i løbet af de seneste 12 år fra et areal på 106 millioner ha i 2008/09 til 180 millioner ha i 2015/16 (Kassam et al. 2018). Fem lande (USA, Brasilien, Argentina, Canada og Australien) dominerer denne statistik med i alt 148 millioner ha og mere end 20 millioner ha per land.

2.3 Udbytter, typiske sædskifter set i forhold til konventionel og økologisk dyrkning

2.3.1 Økologisk dyrkning

Reduceret jordbearbejdning er en del af CA og ifølge Ingvorsen (2019), konsulent i SEGES Økologi Innovation, er et stigende antal økologer optaget af reduceret jordbearbejdning ud fra bl.a. et ønske om at begrænse CO₂-aftrykket fra produktionen. Ifølge konsulenten er det dog vanskeligt at implementere reduceret jordbearbejdning i økologisk produktion, hvor herbicider ikke må benyttes til bekæmpelse af ukrudt. Tilsvarende gør sig gældende i udlandet, f.eks. USA (Anderson, 2015). I forskellige igangværende danske projekter er der ifølge Ingvorsen (2019) fokus på netop reduceret jordbearbejdning i økologisk produktion.

I Nielsen (2019a) svarer chefkonsulent i Økologisk Landsforening på spørgsmålet, om CA og økologisk landbrug kan kombineres. Chefkonsulentens svar er "ja", men svaret specificeres efterfølgende til, at det kan lade sig gøre om en årrække, når der er opnået mere viden og praktiske erfaringer. Blandt andet skal man have "knækket koden for", hvordan ukrudt kan styres med minimal jordbearbejdning og brug af efterafgrøder. Svaret stemmer overens med, at CA i økologisk produktion i Danmark ikke har stor udbredelse for nærværende, som nævnt ovenfor. Det udelukker dog ikke, at visse økologer eksperimenterer med CA på en del af deres bedrift.

Ifølge Casagrande et al. (2016) findes der ingen europæiske studier, der har undersøgt CA-praksis i økologiske dyrkningssystemer. I et litteraturstudium konkluderer Vincent-Caboud et al. (2017), at vedvarende kontrol af ukrudt og efterafgrødehåndtering er to udfordringer, der begrænser udbredelsen af CA i økologisk produktion. Af problemer nævnes, at det kan være vanskeligt at opnå hæmning af ukrudtet gennem hele en salgsafgrødes vækstsæson, og at det kan være vanskeligt at destruere efterafgrøder uden at benytte herbicider eller jordbearbejdning.

I betragtning af at der er meget få økologer, der benytter CA, inddrages økologisk produktion ikke yderligere i dette afsnit.

2.3.2 Typiske sædskifter og deres fordele og udfordringer

Forskellige sædskifter giver forskellige udfordringer mht. praktisering af reduceret jordbearbejdning og direkte såning. I Tabel 2.2 er taget udgangspunkt i typiske sædskifter på sand- og lerjord for konventionelle kvæg-, svine- og planteavlsbedrifter, som de er opgjort af Sørensen et al. (2019). Tabellen viser fordelingen af afgrødetyperne vårkorn, vinterkorn, majs, sædskiftegræs og raps i 13 typiske konventionelle sædskifter.

I det følgende inddrages offentligt tilgængelige erfaringer fra landmænd, der praktiserer reduceret jordbearbejdning. Da disse landmænd pga. gældende lovgivning forventes at dyrke en vis mængde

efterafgrøder, opfylder de nogle af kravene til CA, men det er ikke altid muligt ud fra de tilgængelige oplysninger at vurdere, hvor mange af landmændene, der kan henregnes til fuldt ud at praktisere CA.

Kvægbrug

Som det fremgår af Tabel 2.2 er kvægbrug ved mere end 1,7 DE/ha karakteriseret ved høje andele af majs og sædskiftegræs. I Stougaard og Filsø (2019) fortæller en kvægbruger ved Billund (JB1 jord), at majs efter majs ikke kunne praktiseres pga. svampesygdomme, men i et mere varieret sædskifte sår han nu majs direkte i en ikke-nedsprøjtet efterafgrøde af bl.a. overvintrende arter. Hansen (2019) beskriver derimod en kvægbruger ved Gilleleje, der, selvom han generelt praktiserer CA med mindst mulig jordbearbejdning, mener, at jorden før majs skal løsnes i ca. 15 cm dybde. Sidstnævnte kan være i overensstemmelse med Van den Putte et al. (2010), der i en sammenstilling af 47 forsøg med CT/CA på 75 lokaliteter i Europa fandt størst udbyttereduktion under reduceret jordbearbejdning, herunder direkte såning, på sandjord - især for majs til modenhed. Udbyttenedgangen var dog ikke signifikant for majs til ensilage, og forfatterne nævner, at udbyttenedgangen for majs til modenhed kan skyldes, at denne afgrøde mest dyrkes på sandet jord, der i Van den Putte et al. (2010) defineres som hovedparten af de jordtyper, vi har i Danmark. Lyngvig (2017) kalder majs (og raps) for strukturfølsomme afgrøder, men hvorvidt majs behøver dyb jordløsning afhænger formentlig af mange lokale forhold, f.eks. jordens indhold af organisk stof.

Kvægbrugsmarker vil ofte have et forholdsvis højt indhold af organisk stof. Erfaringer fra en landmand, der har dyrket både sand- og lerjord med CA (Stougaard og Filsø, 2019) er, at på lerjorden (JB6-7) kunne de i højere grad gå fra pløjning til direkte såning end på sandjorden (JB1). Forklaringen angives at være, at den "taknemmelige" lerjord tidligere havde været en del af et gammelt kvægsædskifte med meget græs, gylle og dybstrøelse, mens sandjorden var præget af kompakt jord under pløjelaget. Hvorvidt sandjorden ville have været lige så "taknemmelig" som lerjorden, hvis den havde indgået i et tilsvarende sædskifte, diskuteres ikke. Det er dog ikke blot pløjelaget men også underjordens beskaffenhed, der har betydning for afgrødevæksten. På grund af naturlig jordbundsdannelse vil underjorden ofte være mere kompakt under en JB1 end under en lerjord. Desuden vil dybere rodvækst på en JB1 oftest være begrænset af mangel på ler og kulstof under pløjelaget (Askegaard og Eriksen, 2007; Petersen et al. (2015).

I typiske kvægbrugssædskifter indgår som nævnt ofte en stor andel sædskiftegræs. Plantedækket kan nedvisnes med herbicidbehandling, men hvis det ikke er muligt eller ønskeligt, er det nødvendigt med pløjning, som Schjønning et al. (2002) konkluderede ud fra deres sammenligninger af pløjefri jordbearbejdning og pløjning ved økologisk dyrkning. Hvis omlægning af græsmarker kan foretages efter nedvisning er der mulighed for direkte såning af den efterfølgende afgrøde. Christensen (2011) citerer jordbrugsforsker W.G. Sturny for at mene, at en to-tre år gammel græsmark, der er nedvisnet, er et fint udgangspunkt for direkte såning. Kelstrup (2013) omtaler dog en landmand, der valgte direkte såning af korn efter nedvisnet rødsvingel, hvor det gik fint med havre men ikke godt med vårbyg.

Svinebrug og planteavlsbrug

Af de forskellige bedriftstyper i Tabel 2.2 er svinebrug generelt den bedriftstype, der har den største andel af vinterkorn. Planteavlsbrug på ler har dog omtrent samme andel vintersæd som svinebrug (Tabel 2.2). Sandal et al. (2017) mener, at sædskiftet er nøglen til at klare ukrudtsproblemer ved reduceret jordbearbejdning. De anbefaler, at der skal være mindst 20 procent og gerne 40 procent vårsæd i sædskiftet, for at undgå opformering af græsukrudt og for at have plads nok til efterafgrøder. Desuden anbefales 20 procent bredbladede afgrøder (f.eks. raps eller hestebønner). Anbefalingerne stemmer overens med oplysninger om sædskiftet på en planteavlsbedrift, hvor der gennem en længere årrække har været praktiseret CA (Ilsøe, 2013). På den pågældende lerjord dyrkes der 40% vårsæd, 40% vinterhvede og 20% raps. Anbefalingerne og omtalte sædskifte adskiller sig markant fra et typisk planteavlsbrug på lerjord, der ifølge Tabel 2.2 har 55% vintersæd, 25% vårsæd og 15% raps. Det adskiller sig ligeledes fra et typisk svinesædskifte på både sand og ler, hvor vintersæd udgør henholdsvis 55% og 60% (Tabel 2.2). Hvis et typisk svinesædskifte eller et planteavlssædskifte på lerjord skal omlægges til CA efter ovennævnte anbefalinger, vil det derfor kræve, at der foretages sædskifteændringer i retning af en større andel vårkorn. Efter høst af kornafgrøder er det vigtigt, at halmen snittes og spredes ensartet over hele marken, og man kan evt. foretage stubbearbejdning parallelt med markens diagonaler for at fordele halmen, jævne marken og udviske spor (Lyngvig, 2017; Nielsen et al., 2001).

Alternative sædskifter

Af de i Tabel 2.2 angivne alternative sædskifter er sædskifter med frøavl og fabrikssukkerroer karakteriseret ved en stor andel af vinterkorn. Nielsen et al. (2001) nævner, at pløjefri etablering efter frøgræs er vanskelig, men at der blandt de 15 landmænd, der indgik i deres undersøgelse, næsten ikke var erfaringer med pløjefri etablering efter frøgræs eller efterafgrøder. Efterfølgende synes der at være opnået mere erfaring med frøgræs, idet Sandal et al. (2017) mener, at frøgræs kan indgå i sædskiftet med godt resultat, men at man skal være opmærksom på spildfrø-problemer, og at det er bedst at lade stubben ligge urørt til foråret og så vårsæd.

Kartoffelsædskiftet, der oftest findes på sandet jord, er foruden kartofler karakteriseret ved en større andel vårkorn end nogle af de andre sædskifter. Sandal et al. (2017) nævner, at kartofler generelt kvitterer positivt på et pløjefrit system, hvor der er opbygget en organisk pulje. Rasmussen (1999) citerer ældre norske forsøg som viste, at kartoflerne udviklede sig langsommere i begyndelsen ved direkte lægning, men at de fortsatte væksten længere i efteråret og ofte gav højere udbytter end konventionelt dyrkede kartofler. Møller (2001) citerer nyere norske resultater fra forsøg med direkte lægning af kartofler, hvor erfaringerne er, at der ikke er grund til at bearbejde jorden mere end de 10 cm som læggeren bearbejder. Udbytter og kvalitet adskilte sig ikke fra traditionel lægning, men det pointeres, at det er vigtigt, at der efter direkte lægning udføres en god hypning. Derved bearbejdes jorden, ligesom der foretages en yderligere bearbejdning, når kartoflerne tages op. Ulempen ved direkte lægning er, som nævnt ovenfor, at jorden uden dyb jordbearbejdning

opvarmes lidt langsommere og derfor kan medføre forsinket fremspiring. De gode erfaringer med direkte lægning af kartofler stemmer dog ikke overens med resultater fra et svenske forsøg, hvor man fandt udbyttenedgang i forhold til pløjning, og hvor man som gennemsnit af 14 forsøg med reduceret jordbearbejdning ligeledes fandt udbyttenedgang i kartofler (forsøg sammenstillet af Arvidsson et al., 2014).

Stougaard og Filsø (2019) omtaler en landmand, der har erfaringer med CA, men som stadig bruger ploven før såning af roer. Efter roehøsten bliver der desuden harvet for at få jævnet de spor, som optagningen ofte medfører. Der angives ikke en begrundelse for, at der stadig pløjes før roerne, og der er sparsomt med forsøgsresultater for direkte såning af roer, men Nielsen (2019b) rapporterer et forsøg med såning af sukkerroer ved bl.a. direkte såning i kamme, som var anlagt det foregående efterår. Ved denne såmetode var der betydeligt større stokløbningstendens end ved forudgående pløjning og såbedsharvning. En mulig forklaring på dette angives at kunne være, at den pløjefrit dyrkede jord har været mere kompakt og har haft en lavere jordtemperatur om foråret (kapitel 6), som kan medføre øget tendens til stokløbning. Lavere udbytter i roer ved reduceret eller direkte såning stemmer overens med de svenske forsøg, der indgår i Arvidsson et al. (2014).

Tabel 2.2. Afgrøders andele (%) i forskellige konventionelle sædskifter ved forskellig husdyrbelastning (DE/ha). Efter Sørensen et al. (2019).

	Kvæg						Svin		Alternativ (svin)			Planteavl	
	Sand			Ler			Sand	Ler				Sand	Ler
DE/ha	<1,7	1,7-2,3	2,3	<1,7	1,7-2,3	2,3			Frøavl	Roer ¹	Kartofler		
Vårkorn	30	10	10	25	15	10	30	15	25	25	40	35	25
Vinterkorn	20	10	-	35	25	15	55	60	45	40	20	40	55
Majs	25	40	50	20	30	45	-	-	-	-	-	10	-
Græs ²	20	35	35	10	25	25	-	-	-	-	-	5	-
Raps	-	-	-	5	-		10	15	10	5	5	10	15
Rest	5	5	5	5	5	5	5	10	20 ³	30 ⁴	35 ⁵	0	5

1. Fabrikssukkerroer. 2. Sædskiftegræs. 3. Frøafgrøder. 4. Heraf 20 % fabrikssukkerroer. 5. Heraf 30 % kartofler.

50-60
40-49
30-39
20-29

[Sædskifter med husdyrgødning](#)

Udnyttelse af fast husdyrgødning herunder dybstrøelse er en udfordring ved pløjefri dyrkning og især ved direkte såning. I en undersøgelse fra 2002 konkluderer Schjønning et al. (2002) ud fra deres sammenligninger af pløjefri dyrkning og pløjning, at ploven er nødvendig ved tilførsel af fast staldgødning, dybstrøelse og kompost. Hansen (2019) beskriver udfordringer med udnyttelse af dybstrøelse ved praktisering af CA på en kvægbedrift, hvor dybstrøelsen, der muges ud om foråret, lægges i markdepot indtil det følgende efterår, hvor den nu mere omsatte dybstrøelse kan udbringes før såning af majs i det følgende forår. Ammoniaktab forhindres dog bedst ved nedpløjning. Ved visse former for reduceret jordbearbejdning kan husdyrgødningen indarbejdes med tallerkenharve. Da kapaciteten normalt er højere ved harvning end ved pløjning, vil ammoniaktabet kunne reduceres mere ved samtidig indarbejdning med tallerkenharve end ved hurtigt nedpløjning (Hansen og Birkmose, 2005).

Langt den største del af husdyrgødningen i Danmark udbringes som gylle, hvor gyllen kan nedfældes, forsures mm. Ifølge Nyord (2011) kan dette nedbringe ammoniakfordampningen i forhold til udbringning med slæbeslanger. Der savnes dog oplysninger om, hvilke metoder der benyttes af landmænd, der praktiserer direkte såning. I Stougaard og Filsø (2019) fortæller en landmand, at jordbearbejdning forud for vårkorn ikke helt kan undgås, hvis der nedfældes gylle. Det stemmer overens med, at en anden landmand fortæller, at i hans vårsæd kan nedfældning af gylle gøre det ud for den øverlige harvning, han normalt fortager før såning (Solhøj, 2010).

2.3.3 Udbytte i forhold til afgrøder

Van den Putte et al. (2010) fandt i en metaanalyse af europæiske forsøg, at overgang til reduceret jordbearbejdning kan reducere udbyttet, men at udbyttenedgangen afhænger af afgrødeart foruden teknik, jordens tekstur og sædskifte. Ifølge Van den Putte et al. (2010) er der i Europa udført en betydelig mængde forsøg vedrørende udbytteeffekt af pløjefri dyrkning/CA. Forfatterne anfører, at resultaterne fra forskellige studier ofte synes modstridende og vanskelige at tyde, og de mener, at dette er forventeligt, idet både de dyrkningsmæssige omstændigheder og typen af pløjefri dyrkning/CA varierer betydeligt fra forsøg til forsøg. Dette støttes af Derpsch et al. (2014), der ønsker mere standardiserede forsøg med direkte såning og CA, samt flere oplysninger om metoder og forudsætninger i publicerede artikler.

Van den Putte et al. (2010) fandt, at den gennemsnitlige udbyttereduktion i Pløjefri dyrkning sammenlignet med konventionel dyrkning i de undersøgte 47 europæiske studier var 4,5%. Rodfrugt-afgrøder var tilsyneladende mindst påvirket af pløjefri dyrkning under forudsætning af, at der blev benyttet en tilpas stor jordbearbejdningsdybde, således at rødder og knolde kunne udvikles. Det betyder, at der i disse forsøg ikke har været foretaget direkte såning/lægning, som i analysen af Pittelkow et al. (2015), der fandt en betydelig udbyttenedgang for rodfrugter.

Pittelkow et al. (2015) sammenlignede udbytter ved direkte såning og konventionel jordbearbejdning i en global metaanalyse. De fandt ingen udbyttereduktion for olieafgrøder (herunder raps) og bælgeplanter (bl.a. ærter, bønner og lupin), men som nævnt betydelige udbyttenedgange for rodfrugter (bl.a. kartofler og sukkerroer) på 21%. For majs fandt de en udbyttenedgang på 8% og for hvede og øvrige kornafgrøder (bl.a. byg, havre, rug og triticale) 3%. I metaanalysen indgik 678 studier med 6005 parvise observationer, der repræsenterede 50 afgrøder og 63 lande.

Metaanalysen illustrerer, at det på trods af et meget stort antal forsøg kan være vanskeligt at finde tilstrækkeligt med forsøg for hver afgrøde. For eksempel indeholdt gruppen af olieafgrøder i Pittelkow et al. (2015) bl.a. raps, bomuld, hør, sennep, tidsel og solsikke. At bomuld blev kategoriseret i denne gruppe skyldtes, at der var for få observationer for bomuld (188) til at denne afgrøde kunne få sin egen kategori. Spørgsmålet er, om det er rimeligt at gruppere meget forskellige afgrøder i samme gruppe, blot fordi afgrøderne bruges til samme type produkt.

I Rasmussen (1999) opnåede reduceret jordbearbejdning de mest tilfredsstillende udbytter i vinterhvede, vinterraps og sent høstede kartofler i forhold til pløjning. Vårbyg, som indgik i en stor del af forsøgene, klarede sig mindre godt. Dette er i modsætning til Arvidsson et al. (2014), som for et stort antal svenske forsøg fandt, at vårsæd ved reduceret jordbearbejdning (jordbearbejdning i 5-12 cm) gav omtrent samme udbytte som pløjning, mens direkte såning af vårsæd gav betydeligt mindre udbytter. Ligeledes konkluderede Vestergaard (2019) på baggrund af to langvarige forsøg på henholdsvis lerjord i Vestsjælland (forsøget påbegyndt 1999) og finsandet jord i Vestjylland (forsøget påbegyndt 2001), at vårbyg synes at være en god afgrøde i pløjefri dyrkningssystemer, mens vinterhvede synes mindre sikker. Der var dog ikke statistisk sikker udbytteforskel mellem pløjning og reduceret jordbearbejdning/CA.

I Arvidsson et al. (2014) gav vinterhvede efter vinterhvede udbyttetab på ca. 13% ved reduceret jordbearbejdning, mens udbyttet var omtrent på samme niveau som pløjning, når vinterhvede havde forfrugt af vinterraps eller ærter. Begge afgrøder er kendt for at være gode forfrugter til hvede, og resultatet viser, at for vinterhvede er det vigtigt med gode forfrugter. Forfrugterne i sig selv, især ærter, klarede sig dog relativt dårligt ved både reduceret jordbearbejdning og direkte såning.

2.3.4 Jordtype og vejrforhold

Teksturen i overjorden, dvs. indholdet af ler, sand og silt, har effekt på udbytterne ved reduceret jordbearbejdning (Van den Putte et al. (2010). JB-nummeret er en dansk betegnelse for teksturen i de øverste 20 cm, hvor JB1 er en grovsandet jord med under 5% ler, en JB6 er en fin sandblandet lerjord med 10-15% ler og en JB7 er en lerjord, der kan have op til 25% ler. Arealer med mere end 25% ler udgør ca. 1% af det dyrkede areal i Danmark og JB7 udgør ca. 7% (Jensen og Pedersen, 2019). Størstedelen af Danmarks areal udgøres derfor hovedsagelig af arealer med mindre end 15% ler.

I en litteraturgennemgang af skandinavisk litteratur konkluderer Rasmussen (1999), at reduceret jordbearbejdning synes at lykkes bedst på de mest lerede jordtyper (op til 70% ler i store dele af Sverige og Finland), som er vanskelige at bearbejde med konventionel jordbearbejdning. I gennemsnit over alle jordtyper var udbyttetabet ved reduceret jordbearbejdning betydeligt mindre end 10% af udbyttet ved konventionel jordbearbejdning. Fordelen ved pløjefri dyrkning på lerjord fremgår ligeledes af landmænds begrundelser for at benytte denne metode: "lerjord er for besværlig at pløje" (Nielsen et al., 2001).

Tilsvarende Rasmussen (1999) fandt Van den Putte et al. (2010), at direkte såning reducerede udbytterne, undtagen på lerjord, der blev defineret som jorde med et for Danmark meget højt lerindhold. Udbytterne blev mest reduceret på sandet jord, der med definitionen i Van den Putte et al. (2010) svarer til stort set alle danske jorde. At det kan være vanskeligt at praktisere direkte såning på sandede jordtyper stemmer med Andersen og Nielsen (2017), som nævner, at pløjefri dyrkning er lettest på lerjord, fordi sandjord og jorde med et højt indhold af silt har lettere ved at pakke.

Sandsynlig spiller indholdet af organisk stof en rolle for hvor godt direkte såning lykkes på hovedparten af de danske jorde. Petersen et al. (2017) fremhæver, at et højt indhold af organisk stof i jorden er en forudsætning for at opnå succes med pløjefri dyrkning. En landmand fra Gørlev har den tilsvarende opfattelse, at hans jord uden sten og med et stort indhold af organisk stof og et underlag af ler er en jord, der er oplagt til CA (Stougaard og Filsø, 2019).

Vejrforhold og klima kan have betydning for udbyttet ved reduceret jordbearbejdning. Rasmussen (1999) citerer norske forsøg, hvor der er blevet observeret bedre resultater ved reduceret jordbearbejdning i tørre år end i våde år. Det stemmer overens med Hansen et al. (2002), der på baggrund af landsforsøg med vinterhvede i perioden 1981-1998 kunne beregne, at det relative udbytte ved direkte såning faldt med 0,75% hver gang nedbøren i april-juni blev forøget med 10 mm. Van den Putte et al. (2010) fandt en mindre sikker sammenhæng til nedbørsforholdene, idet resultaterne ved reduceret jordbearbejdning var bedst under tørre betingelser på leret og sandet jord, mens det modsatte var tilfældet på lermuldet jord. I analysen af Van den Putte indgik udelukkende europæiske forsøg. I en global metaanalyse (Sun et al., 2020) fremgår, at det først og fremmest er under tørre klimaforhold, der er opnået merudbytter ved CA, mens der under kølige klimaforhold, som bl.a. i det nordlige Europe og Canada, er forekommet udbyttetab.

Afgrødernes udvikling og udbyttepotentiale afhænger ikke blot af jordtypen i overjorden (JB-nummeret), men også af teksturen i de dybere jordlag, fordi den har afgørende betydning for, hvor dybt både afgrøder og efterafgrøders rødder kan udvikle sig (se afsnit om efterafgrøder). Selvom underjorden har en tekstur, der betinger god rodvækst, kan et kompakt lag i form af en pløjesål udgøre et rodstandsende lag umiddelbart under pløjelaget. Holland (2004) fremhæver, at jorden må være fri for kompakte lag før overgang til reduceret jordbearbejdning, da situationen ellers kan forværres. Dette stemmer overens med praktiske erfaringer om, at en pløjesål kan besværliggøre overgang til CA, og at det er vigtigt først at tjekke markerne for pløjesål inden man går over til CA (Stougaard og Filsø, 2019).

2.3.5 Varighed af reduceret jordbearbejdning

Erfaringer fra praksis (f.eks. Stougaard og Filsø, 2019) og forsøg (Van den Putte et al., 2010) viser, at sædskiftet kan have betydning for udbytterne ved reduceret jordbearbejdning herunder direkte såning. I den forbindelse har varigheden af reduceret jordbearbejdning i et givent sædskifte betydning. Men varighed synes at kunne medføre to modsatrettede effekter afhæng af hvilket sædskifte, der benyttes gennem længere tid. Udbytterne i visse sædskifter kan falde ved længere tids reduceret jordbearbejdning, mens der er forsøg som tyder på, at udbytterne kan stige ved længere tids reduceret jordbearbejdning. Med hensyn til faldende udbytter fandt Van den Putte et al. (2010), at i ensidige kornsædskifter var der med tiden faldende udbytter ved reduceret jordbearbejdning, sandsynligvis pga. øget sygdomstryk og muligvis mere kompakt jord. Sygdomstrykket kan mindskes ved et varieret sædskifte, som anbefalet ved CA. I en litteraturgennemgang henviser Holland (2004) til artikler som viser, at ved langvarig benyttelse af reduceret

jordbearbejdning, der i visse situationer kan føre til mere kompakt jord og dermed lavere udbytte, kan især dyrkning af efterafgrøder medvirke til at forbedre jordstrukturen (se også kapitel 6).

I nogle internationale artikler (f.eks. Kassam et al., 2014) fremføres, at efter et vist antal år med lavere udbytter ved reduceret jordbearbejdning end ved konventionel jordbearbejdning, vil udbytterne stige igen til et konventionelt niveau (Soane et al., 2012) noterede efter en litteraturgennemgang af europæiske forsøg, at udbytterne ofte var betydeligt lavere umiddelbart efter overgang til direkte såning i sammenligning med pløjning, men at udbytterne bedrede sig efter ca. 3 år pga. bedre jordstruktur. I fastliggende forsøg med forskellige typer jordbearbejdning kan det dog være vanskeligt at afgøre, om en tendens til relativt stigende udbytter ved en given jordbearbejdning skyldes andre forhold (f.eks. vejrforhold), som begunstiger netop denne jordbearbejdning. Giller et al. (2015) er kritisk over for artikler som f.eks. Kassam et al. (2014), hvor der forventes positiv effekt af længerevarende forsøg, idet Giller et al. (2015) mener, at forfatterne blot henviser til, at en udebleven stigning i udbytterne skyldes, at forsøgene befinder sig i en overgangsperiode. Forventningen er således i disse tilfælde, at reduceret jordbearbejdning altid vil resultere i stigende udbytter, som det også kommer til udtryk hos Derpsch et al. (2014).

2.4 Forskning vs. praksis

2.4.1 Generelle erfaringer fra forsøg og praksis

Pløjefri dyrkning blev introduceret i Skandinavien først i 1970'erne (Rasmussen (1999)). I mange af de tidlige forsøg med pløjefri dyrkning blev reduceret jordbearbejdning herunder direkte såning undersøgt i de på daværende tidspunkt gængse sædskifter, som ofte bestod af ensidig vårbyg, hvor halmen blev fjernet eller brændt (Rasmussen (1999)). Det vil sige, at der ikke har været fokus på alsidige sædskifter og permanent jorddække med planterester eller levende planter. Der vil derfor kunne argumenteres for, at eventuelt opnåede udbyttetab ved reduceret jordbearbejdning i forhold til pløjning ville kunne vendes til uændrede udbytter eller merudbytter, hvis forsøgene havde fundet sted under CA.

Den udbyttedmæssige effekt af CA afhænger af en lang række forhold som afgrøde, jordtype, vejr- og klimaforhold samt de benyttede maskiner. Ifølge Van den Putte et al. (2010) afhænger en succesfuld introduktion af CA desuden af lokal ekspertise og know-how, og de mener, at dette kan forklare en betydelig del af den variation mellem lokaliteter, der blev identificeret i deres studium af 47 forsøg med pløjefri dyrkning/CA på 75 lokaliteter i Europa. Denne opfattelse deles af Holland (2004), som anfører, at generelt kræver dyrkning ved reduceret jordbearbejdning større dygtighed af landmanden men også adgang til maskiner, der kan klare at så i afgrøderester, samt dygtighed til at udføre jordbearbejdning, når jorden er tjenlig til netop den pågældende behandling.

FAO oplyser på deres hjemmeside (FAO, 2017), at de promoverer udbredelsen af CA-principperne (omtalt i afsnit 1.1), som de mener er universelt anvendelige i alle former for dyrkningssystemer. Dette udsagn

genfindes i Friedrich et al. (2012), hvor forfatterne (herunder Friedrich, som oplyses at være ansat i FAO) uden dokumentation angiver, at udbyttene ved CA er sammenlignelige med og enddog højere end udbytterne under konventionel jordbearbejdning. I en artikel (Derpsch et al., 2014), der har Friedrich som medforfatter forklares, at hvis der observeres udbyttereduktion i forsøg skyldes det en lang række forhold, som samlet set kan betegnes som fejl og mangler ved de udførte forsøg. For eksempel nævnes utilstrækkeligt maskineri til direkte såning, etablering af forsøg på arealer med meget lavt indhold af organisk stof, utilstrækkelig bekæmpelse af sygdomme og ukrudt, utilstrækkelig variation i sædskiftet, mangel på viden og ekspertise hos forskere og forsøgsmedarbejdere og manglende forståelse for, hvordan direkte såning fungerer optimalt.

Forskning i CA som dyrkningssystem er i følge Derpsch et al. (2014) en stadig udfordring for forskere, og de mener, det er årsagen til, at udviklingen i CA over hele verden drives fremad af landmænd og ikke forskere. Landmænd er ifølge Derpsch et al. (2014) bedre til at implementere nye dyrkningssystemer end de fleste forskere og universitetsprofessorer. Landmænd kan hurtigere foretage ændringer i deres praksis end man kan i forsøg, hvor resultaterne skal kunne generaliseres, hvis de skal kunne bruges af andre. Ulempen er, at landmænd, der ændrer praksis fra år til år ikke kan være sikre på, om det var den ændrede praksis eller det enkelte år, der havde betydning for resultatet.

At landmænd, der praktiserer reduceret jordbearbejdning, ofte ændrer praksis fremgår af bl.a. Solhøj (2010), som har interviewet en landmand, der har mere end 20 års erfaring med pløjefri dyrkning og som ikke lægger skjul på, at der har været lærepenge at betale undervejs. For eksempel gav øverlig harvning på et tidspunkt 'harvesål' som måtte brydes ved dybere harvning. Ved at læse beretninger fra de 13 landmænd i Stougaard og Filsø (2019) får man ligeledes indtryk af, at mange landmænd prøver sig frem med reduceret jordbearbejdning herunder direkte såning og CA. Som Ilsøe (2019) skriver "Vi med Conservation Agriculture skal drage vores egne erfaringer".

At drage sine egne erfaringer indebærer ofte, at man ikke omlægger hele sit dyrkningsareal til en ny type jordbearbejdning på en gang. Lyngvig og Nielsen (2017) anbefaler, at landbrugere skal have flere års erfaring med pløjefri dyrkning, før de overvejer direkte såning, og at direkte såning kræver stor dygtighed mht. driftsledelse. Som eksempel kan nævnes en planteavler, som fire år tidligere begyndte at så direkte, men endnu ikke har omlagt 100 procent til CA: "Jeg harver stadig nogle marker afhængigt af forholdene. Jeg prøver mig lidt frem og får erfaringer. Jeg har ikke is nok i maven til at droppe harven helt, da jeg er lidt bange for græsukrudt ved fuld omlægning til CA."

2.4.2 Udbytter i de langvarige danske (CENTS) forsøg

Der er ikke foretaget mange forsøg med CA i Danmark. Men i CENTS-forsøget indgår CA i nogle af sædskifterne. Ved Flakkebjerg og Foulum har der således siden 2002 været udført forsøg med forskellige typer jordbearbejdning i fem forskellige sædskifter (R1-R5). I sædskifterne R3 og R4 er afgrøderækkefølgen

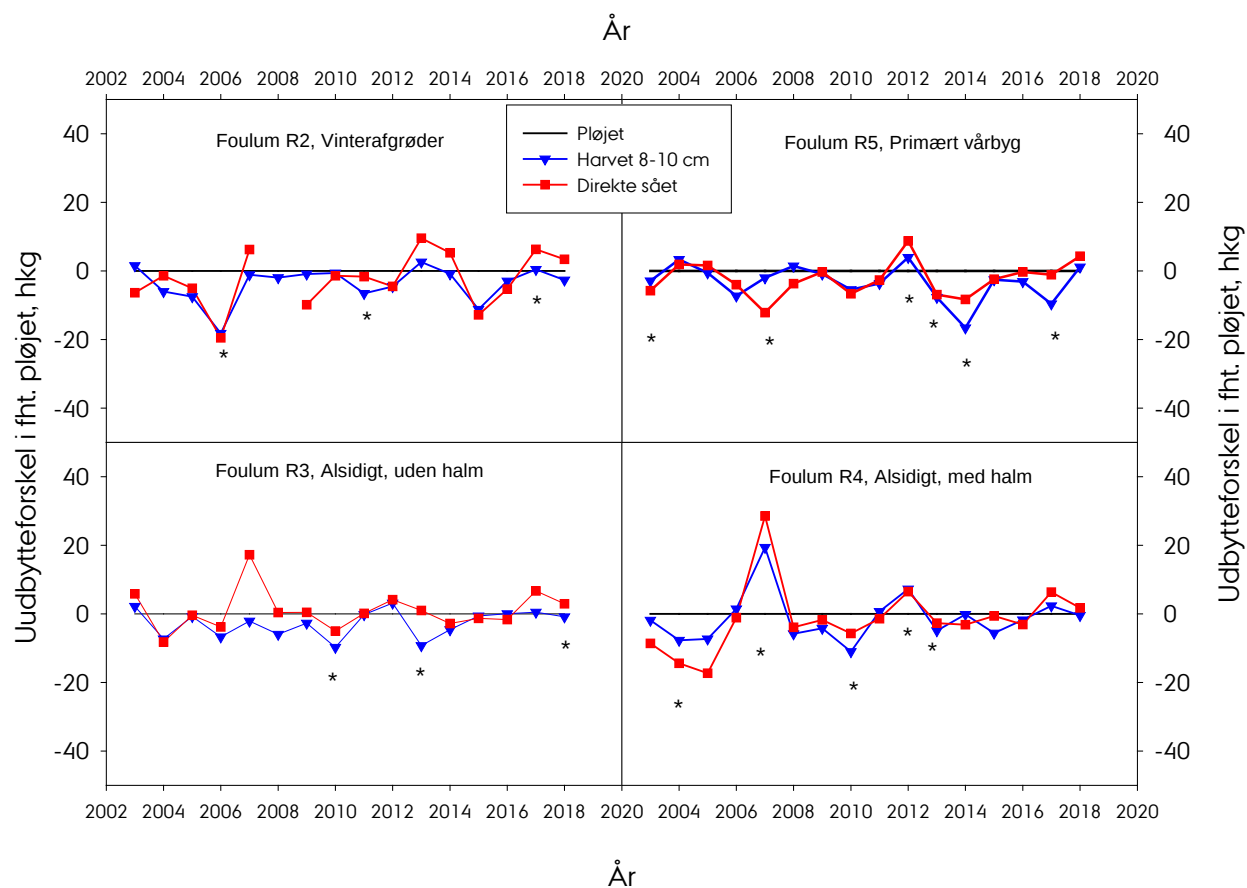
ens, men i R3 fjernes halmen, mens den efterlades i alle andre sædskifter. I alle sædskifter er jorden plantedækket om efteråret af enten en vinterafgrøde eller en efterafgrøde. Siden 2017 har der været dyrket mellemafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2019) før såning af vintersæd. Afgrøderne er sædvanligvis ikke vandede, men i 2018 blev forsøget på Flakkebjerg vandet med 25 mm pga. tørke.

Sædskifterne R3 og R4 opfylder kravene til CA ved at have et varieret sædskifte med 38% vårkorn, 50% vinterkorn og 12% bredbladede afgrøder i form af enten raps, ærter eller hestebønner (Tabel 2.3). I R5 har der været en meget høj andel af vårsæd, idet der i årene 2007 til 2015 blev dyrket ensidig vårbyg med efterafgrøder.

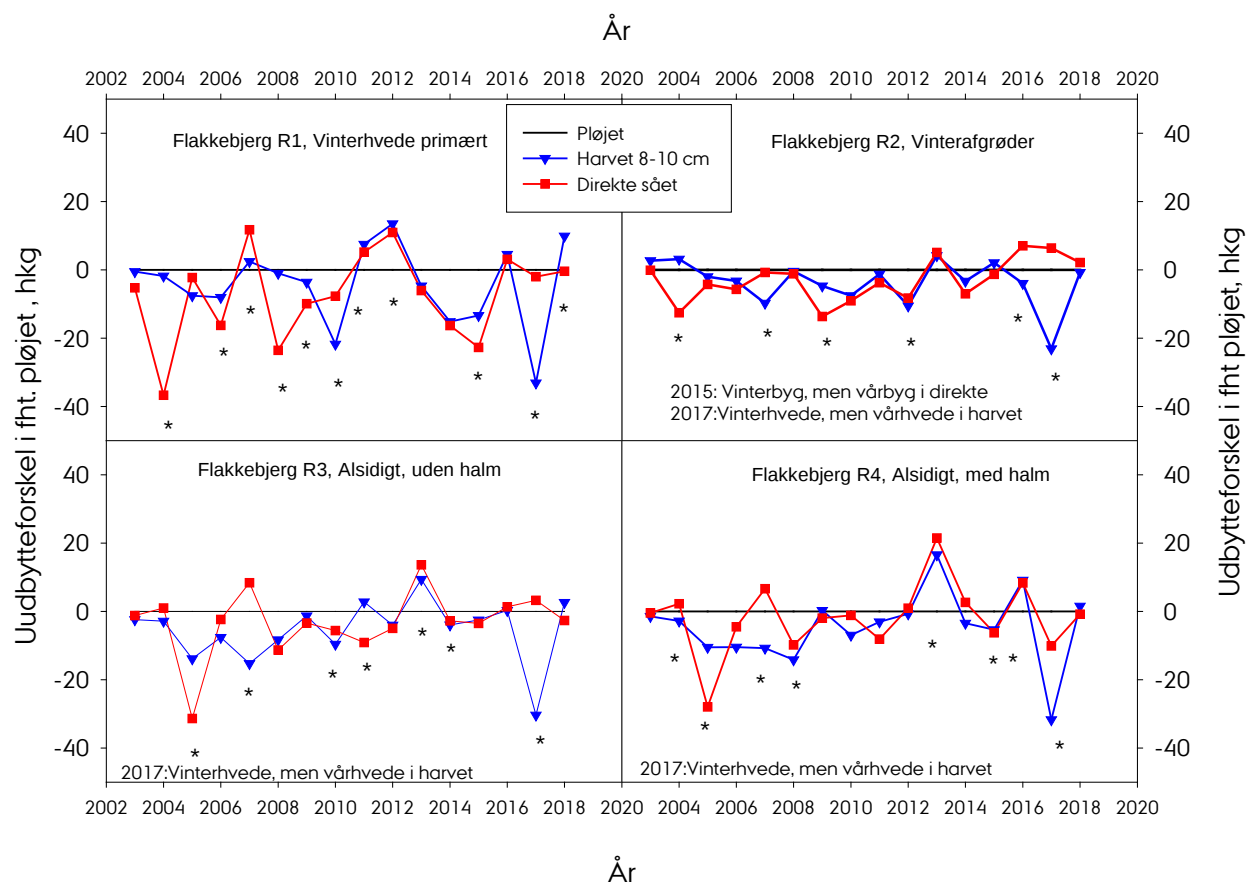
Udbytterne i perioden 2003-2011 er beskrevet af Hansen et al. (2015). Alle relative udbytter i perioden 2003-2018 er vist i Figur 2.3 og 2.4. På grund af dårlig etablering og vækst i visse år i de ikke-pløjede parceller i starten af forsøgene (Hansen et al., 2010) blev Gaspardo Scan-Seeder DP300 (skiveskær-såmaskine), der benyttedes til reduceret jordbearbejdning, udskiftet med Horsch Airseeder CO 3 (tandsåmaskine). I det harvede forsøgsled (Jordbearbejdning 2) blev der skiftet til en Horsch Terrano 3 FX harve og derefter såning med Horsch Airseeder CO 3. Behovet for at skifte fra såning med skiveskær, som er den mest ekstreme form for direkte såning, til tandskær viser, at det på visse jordtyper kan være en udfordring at ændre jordbearbejdning fra pløjning til direkte såning med skiveskær, selvom der dyrkes efterafgrøder, nedmuldes halm og afgrøderne indgår i et varieret sædskifte,

Generelt har der sjældent været signifikant forskel på udbytterne ved direkte såning og pløjning, men oftest har der været en tendens til udbyttetab ved direkte såning og reduceret jordbearbejdning (Figur 2.3). I de fleste sædskifter varierer de relative udbytter ved direkte såning blot lidt i forhold til pløjning, idet kurverne 'bølger' omkring x-aksen som repræsenterer de pløjede udbytter. I særligt et sædskifte (R1, Flakkebjerg) er der dog større udsving i de relative udbytter (Figur 2.3). I dette sædskifte blev der i de første otte år dyrket ensidig vinterhvede, og sædskiftet blev derefter ændret, først og fremmest pga. ukrudtsproblemer. Sædskiftet belyser derfor, at ensidige vinterhvedesædskifter ikke er optimale til pløjefri dyrkning.

I 2018 var der i de uvandede afgrøder (vårbyg i alle sædskifter) på Foulum ikke signifikante forskelle mellem direkte såning og pløjning i nogen af sædskifterne. Men det gennemsnitlige udbytte (hkg tørstof pr. ha) af alle fire sædskifter var ved direkte såning (35,7) signifikant større end ved pløjning (32,6), som derimod ikke var signifikant forskelligt fra harvning i 8-10 cm dybde (31,9). Det tyder således på, at under de ekstremt tørre forhold i 2018 klarede direkte såning sig lidt bedre end pløjning, som det ofte er fundet (se afsnittet Jordtype og vejrforhold). Dette er i overensstemmelse med flere udenlandske studier, som nævnt ovenfor. I visse tilfælde kan tendensen synes at være bedre og mere stabile udbytter med tiden ved pløjefri dyrkning i forhold til pløjning (Figur 2.3). Som nævnt ovenfor kan det dog ikke afgøres, om det skyldes andre forhold som f.eks. vejrforholdene.



Figur 2.3. Udbytte i CENTS sædskifte-jordbearbejdningsforsøgene 2003-2018 for Foulum. Stjerne angiver signifikant forskel mellem jordbearbejdningsbehandlingerne i det pågældende år. Sædskiftet R4 opfylder kravene til CA.



Figur 2.4. Udbytte i CENTS sædskifte-jordbearbejdningsforsøgene 2003-2018 for Flakkebjerg. Stjerne angiver signifikant forskel mellem jordbearbejdningsbehandlingerne i det pågældende år. Sædskiftet R4 opfylder kravene til CA.

Tabel 2.3. Afgrødefordeling i sædskifter i CENTS-forsøget ved Flakkebjerg og Foulum gennem 16 år (2003-2018).

	Flakkebjerg og Foulum			Flakkebjerg	Foulum
	R2	R3	R4	R1 ¹	R5 ²
Halm	Efterladt	Fjernet	Efterladt	Efterladt	Efterladt
Vårkorn	12	38	38	37	75
Vinterkorn	69	50	50	63	19
Bredbladet ³	19	12	12	-	6

1. Fra 2011 (2003-2010 blev der dyrket ensidig vinterhvede). 2. Fra 2007 til 2015 blev der dyrket ensidig vårbyg med efterafgrøde. 3. vinterraps, ærter eller hestebønne

> 60
50-60
40-49
30-39
20-29

2.5 Referencer

Alskaf, K., Sparkes, D.L., Mooney, S.J., Sjögersten, S., Wilson, P. (2020) The uptake of different tillage practices in England. Soil Use and Management 36, 27-44. doi:10.1111/sum.12542.

Andersen, B., Nielsen, J.A. (2017). 5. Forudsætninger for pløjefri dyrkning. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning. 2. udgave. SEGES, pp 9-10.

https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_pløjefri_dyrkning_Samlet.pdf

Anderson, R.L., (2015). Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. Agron. Sustain. Dev. 35:967-974.

Arvidsson, J., Etana, A., Rydberg, T., (2014). Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983-2012. Europ. J. Agronomy 52, 307-315.

- Askegaard, M., Eriksen, J. (2007). Growth of legume and nonlegume catch crop and residual-N effects in spring barley on coarse sand. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 773-780.
- Casagrande, M., Peigné, J., Payet, V., Mäder, P., Sans, F.X., Blanco-Moreno, J.M., Antichi, D., Bàrberi, P., Beeckman, A., Bigongiali, F., Cooper, J., Dierauer, H., Gascoyne, K., Grosse, M., Heß, J., Kranzler, A., Luik, A., Peetsmann, E., Surböck, A., Willekens, K., David, C. (2016). Organic farmers' motivations and challenges for adopting conservation agriculture in Europe. *Org. Agr.* 6:281-295.
- Christensen, O.H. (2011). Gammel frøgræsmark er perfekt til direkte såning. *Landbrugsavisen*, 17. Juni 2011. <https://landbrugsavisen.dk/Landbrugsavisen/2011/6/17/Gammelfroegraesmarkerperfekttildirektesaaning.htm>.
- Danmarks Statistik, landbrugs- og gartneritællingen (<https://www.statistikbanken.dk/AFG5> Set Juni 2020.
- Derpsch, R., Franzluebbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K., Friedrich, T., Sturny, W.G., Sá, J.C.M., Weiss, K., (2014). Letter to the Editor. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil Till. Res.* 137, 16-22.
- ECAF (2020) Uptake of Conservation Agriculture in Europe. <http://www.ecaf.org/ca-in-europe/uptake-of-ca-in-europe>. Accessed May 2020
- Engmann, T.S. (2019) Flere danske landmænd dropper ploven: Kan give positive effekter for biodiversitet og klimaet. Danmarks Statistik. <https://www.dst.dk/da/Statistik/bagtal/2019/2019-08-26-flere-danske-landmaend-dropper-ploven>.
- FAO (2017). Conservation Agriculture - Revised version. AG Dept factsheets. Food and Agriculture organization of the United Nations. <http://www.fao.org/publications/card/en/c/981ab2a0-f3c6-4de3-a058-f0df6658e69f/>, 2 pp.
- Friedrich, T., Derpsch, R., Kassam, A. (2012). Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions. Special Issue 6*. URL: <http://journals.openedition.org/factsreports/1941>. ISSN: 1867-8521.
- Giller, K.E., Andersson, J.A., Corbeels, M., Kirkegaard, J., Mortensen, D., Erenstein, O., Vanlauwe, B., (2015). Beyond conservation agriculture. *Front. Plant Sci.* 6:870. doi: 10.3389/fpls.2015.00870.
- Hansen, N.D. (2019). Pløjefrit grovfoder med godt resultat. *FRDKnyt*, januar 2019, pp 6-7. https://22762cd5-1f7c-41b2-9fd1-45069af8f0e.filesusr.com/ugd/59510c_5c986c2cfb34493f8cb7516059c43ab4.pdf.
- Hansen, M.N., Birkmose, T.S., (2005). Hurtig nedmuldning af fast husdyrgødning – betydning for ammoniakfordampning og økonomi. *Grøn Viden, Markbrug* nr. 311, 2005.

- Hansen, E.M., Munkholm, L.J., Melander, B. & Olesen, J.E. (2010). Can non-inversion tillage and straw retainment reduce N leaching in cereal-based crop rotations? *Soil Tillage Res.* 109, 1–8.
- Hansen, E.M., Munkholm, L.J., Olesen, J.E., Melander, B. (2015). Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. *Journal of Environmental Quality* 44, 868-881.
- Hansen, J.P., Petersen, C.T., Hvid, S.K. (2002). Pløjefri dyrkning af hvede klarer sig dårligt i våde år. *Agrologisk*, nr. 2, pp 26-27.
- Ingvorsen, T.S. (2019). Reduceret jordbehandling i økologien. *Momentum+* nr. 4, pp 9-11.
- Holland, J. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems and Environment* 103, 1–25.
- Ilse, S. (2013). Direkte såning kræver helt nyt dyrkningssystem. *Magasinet Mark*, oktober 2013, pp 20-21.
- Ilse, S. (2019). Vi med Conservation Agriculture skal drage vores egne erfaringer. *Magasinet mark*, april 2019, pp 24-25.
- Jensen, J.E., Pedersen, J.B. (2019). Sorter, priser, midler og udviklingsstadier. I J.B. Pedersen (redaktør), *Oversigt over Landsforsøgene*, 2019, pp 371-392. SEGES, Aarhus.
- Kassam A., Friedrich T., Shaxson, F., Bartz, H., Mello, I., Kienzle, J., Pretty, J. (2014). The spread of Conservation Agriculture: policy and institutional support for adoption and uptake. *Field Actions Science Reports* [Online], Vol. 7 | 2014, URL: <http://journals.openedition.org/factsreports/3720>.
- Kassam A., Friedrich T., Derpsch R. (2018) Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*:1-23. doi:10.1080/00207233.2018.1494927
- Kelstrup, L. (2016). Græs før majs skal nedvisnes hurtigst muligt. *Mark PLUS*, 19. februar 2016. <https://landbrugsavisen.dk/node/66243>.
- Landbrugsstyrelsen, (2019). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2019 til 31. juli 2020. 1. revision, august 2019. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_i_planperioden_2019_2020.pdf.
- Landbrugsstyrelsen (2020). Vejledning om grøn støtte 2020. Landbrugsstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, København. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte_stoette_-_grundbetaling_mm/2020/Vejledning_om_groen_stoette_2020.pdf.

- Lyngvig, H.S., (2017). 6.2 Jordbearbejdning. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning. 2. udgave. SEGES, ppside 22-28.
https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_ploejefri_dyrkning_Samlet.pdf.
- Lyngvig, H.S., Nielsen, J.A., (2017). 6.4 Planteetablering. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning. 2. udgave. SEGES, ppside 29-35.
https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_ploejefri_dyrkning_Samlet.pdf.
- Nielsen, J. Aa. (2019a). Kan Conservation Agriculture og økologisk landbrug kombineres? Momentum+ nr. 4, ppside 21-23.
- Nielsen, O., (2019b). Tidlig såning af sukkerroer. Annual Report, Nordic Beet Research Foundation, 3 ppsider.
- Nielsen, K.V., Bastholm, K., Høy, J.J., Sandal, E., (2001). Pløjefri dyrkning med nye typer af tandsåmaskiner. FarmTest-Planteavl nr. 1, SEGES, Aarhus.
- Nyord, T., (2011). Virkningen af forsuring af gylle under udbringning (SyreN). Bilag ved Plantekongres 2011 i Herning. [https://pure.au.dk/portal/da/persons/tavs-nyord\(d19cd2ec-db2f-4b10-861b-b233c3fae653\)/publications/virkningen-af-forsuring-af-gylle-under-udbringning-syre\(fcea71a5-51fa-44a7-88d6-71a2b7c54652\).html](https://pure.au.dk/portal/da/persons/tavs-nyord(d19cd2ec-db2f-4b10-861b-b233c3fae653)/publications/virkningen-af-forsuring-af-gylle-under-udbringning-syre(fcea71a5-51fa-44a7-88d6-71a2b7c54652).html).
- Møller, L. (2001). Direkte lægning af kartofler. Planteavlsorientering, 22. maj 2001, nr. 04.296, arkiv 31.71.SEGES.
- Petersen, C., Hansen, E., Haugaard-Nielsen, H. (2015). Effekter af halmkoks på fysiske egenskaber i grovsandet jord. Sammendrag af indlæg på Plantekongres 2015, sppide 31-33.
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Sider/pl_plk_2015_prog_tema_jord.aspx#session_5.
- Petersen, H.H., Bjorholm, S.R., Kristensen, K.H., (2017). 5.2 Efterafgrøder. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning. 2. udgave. SEGES, ppside 13-16.
https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_ploejefri_dyrkning_Samlet.pdf.
- Pittelkow, C.M., Linquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., van Groenigen, K. J., Lee, J., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. Field Crop Res. 183, 156-168.

- Rasmussen, K.J., (1999). Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53, 3-14.
- Sandal E., Hansen, C., Søndergaard, S., (2017). 5.1 Sædskifte. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). *Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning*. 2. udgave. SEGES, ppside 9-10.
https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_ploejefri_dyrkning_Samlet.pdf.
- Schjønning, P., Rasmussen, K.J., Munkholm, L.J., Nielsen, P.S., (2002). Jordbearbejdning i økologisk jordbrug -pløjedybde og ikke-vendende jordløsning. DJF rapport Markbrug nr. 82, november 2002, Aarhus Universitet, 45 ppsider.
- 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.
- Solhøj, C., (2010). På den ene side, plov og traditionel jordbehandling, på den anden side pløjefrit. *Mark*, april 2010, ppside 38-39.
- Stougaard, K., Filsø, S.S., (2019). Store besparelser i tid og brændstof. I Pedersen, B. (redaktør), *Conservation Agriculture i praksis. Danske landmænd fortæller om deres erfaringer med conservation agriculture*. SEGES.
- Sun, W., Canadell, J.G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., Fischer, T., Huang, Y., (2020) Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology* n/a (n/a). doi:10.1111/gcb.15001.
- Sørensen, P., Poulsen, H.D., Rubæk, G.H., Vinther, F.P., Pedersen, B.F., Kristensen, I.S. (2019). Udredning om anvendelse af gødning i dansk landbrug i relation til indførslen af fosforlofter. DCA rapport nr. 160, august 2019.
- Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., Silva, E.M. (2017). Overview of organic cover crop-based no-tillage technique in Europe: Farmers' practices and research challenges (review). *Agriculture* 2017, 7, 42; doi:10.3390/agriculture7050042.
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M., (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Europ. J. Agronomy* 33, 231-241.
- Vestergaard, A.V., (2019). Udviklingen i udbytter og frugtbarhed i de langvarige jordbearbejdningsforsøg. Indlæg 12-1, Plantekongres 2019. Herning.

3 Ukrudtseffekter og herbicidforbrug ved CA

Bo Melander og Per Kudsk, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

3.1 Indledning

Ukrudt opformerer sig via frø og knopdannelse på jordstængler (f.eks. Grå bynke), pælerødder (eks. skræppearter og Mælkebøtte), underjordiske udløbere (rhizomer, f.eks. Alm. kvik og Følod), overjordiske udløbere (stoloner, eks. Krybhvene) og rødder (eks. Agertidsel og Ager-svinemælk). Enårig ukrudtsarter spredes kun fra frø, hvorimod flerårige ukrudtsarter (her kaldet rod ukrudtsarter) kan spredes både via frø og knopdannelse på vegetative organer. For frøenes vedkommende gælder det, at de skal placeres overfligt i jordprofilen for at kunne etablere nye og livskraftige ukrudtsplanter. Langt de fleste ukrudtsfrø i Danmark spirer fra 0-3 cm's jorddybde (f.eks. de småfrøede arter: Alm. fuglegræs, Ager-stedmoder, ærenprisarter og de fleste græsarter), mens enkelte arter med større frø med mere oplagsnæring kan spire frem fra 5-6 cm's dybde (f.eks. Burre-snerre og Ager-rævehale) (Melander, 1994). Etablering fra vegetative organer kan foregå fra større dybder afhængig af mængden af oplagsnæring (fruktaner) i de underjordiske strukturer; eksempelvis kan skud fra Ager-tidsel og Ager-svinemælk komme fra dybder større end 25 cm (f.eks. Thomsen et al., 2013).

3.2 CA versus vendende jordbearbejdning (pløjning)

Den helt store forskel på CA dyrkning og vendende jordbearbejdning i form af pløjning med muldplader PL er påvirkningen af jordprofilen svarende til pløjelagets dybde (0-25 cm). Ved CA ophobes nykastede ukrudtsfrø på jordoverfladen og i de allerøverste 0-3 cm (Schermer et al., 2016; Nichols et al., 2015). Vegetative organer påvirkes kun i ubetydelig grad og kan bevare deres struktur og udbredelse i og under pløjelaget. PL derimod vil opblande opformeringsmaterialet i hele jordvolumenet 0-25 cm samt medfører en fragmentering af vegetative organer (Melander 1994; Scherner et al., 2016). Hermed kan et ukrudtsproblem i nogen grad fortyndes og forsinkes, foruden at flerårige ukrudtsarters underjordiske organer svækkes. Effekterne af pløjning er velkendt og har været udnyttet i landbruget i århundreder.

3.3 Frøprædation ved CA

Jordbearbejdningssmæssigt kan CA på mange måder sammenlignes med direkte såning (DS), men resultater og erfaringer fra DS er ikke nødvendigvis opnået under CA-principperne om mest muligt plantedække ved hjælp af hyppig efterafgrødedyrkning og varierede sædskifter. De to systemer har dog den overlige placering af ukrudtsfrø til fælles, og frø føres kun ned til dybere jordlag (> 5 cm) via revner, jordbundsdyr og frost/tø effekter. Efter 11 år med DS i et dansk studium var 57% af de levedygtige frø af tokimbladede ukrudtsarter placeret i 0-5 cm jordlaget sammenlignet med 43% i 5-20 cm's laget, som dækker over et noget større jordvolumen. For frø af græsukrudtsarter var 77% placeret i 0-5 cm's laget og kun 4% i 10-20 cm laget (Schermer et al., 2016).

CA-dyrkningsformens overflige placering af ukrudtsfrø betyder, at de udsættes for et betydeligt henfald – noget større, end hvis de var indarbejdet nogle få centimeter i jorden (Nichols et al., 2015). Henfaldet kan skyldes spiring på ugunstige tidspunkter, typisk før etableringen af næste afgrøde. CA-systemets brug af glyphosatbehandling før afgrødeetablering vil fjerne de spæde frøplanter. Ukrudtsfrø på jordoverfladen fortæres desuden i betydelig grad af fugle, invertebrater og gnavere. Flere studier peger på, at CA fremmer den frø-prædatorerende fauna, både hvad angår antal, diversitet og aktivitet (f.eks. Trichard et al., 2014; Blubaugh & Kaplan, 2015). Især det kontinuerte plantedække og den begrænsede mekaniske påvirkning af jorden fremmer faunaen. Melander et al. (2013) giver en række eksempler på ukrudtsarter, hvor der kan forventes et meget større henfald, hvis frøene efterlades på jordoverfladen, end hvis de indarbejdes i jorden efter frøkast. Eksempelvis har danske undersøgelser vist, at henfaldet af frø på jordoverfladen af konkurrencesterke ukrudtsarter som Ager-rævehale, Vindaks, Alm. rajgræs, Alm. rapræs og Stor væselhale kan være tæt på 100 % i løbet af ét år. Ukrudtsgræsser, som alle er kendt for deres evne til at kunne nedsætte udbyttet betragteligt i vintersæd, se bl.a. Melander (1995).

3.4 Ukrudtsarter knyttet til CA

CA skaber et relativt uforstyrret miljø for plantevækst, som i nogen grad minder om vækstforholdene, der kendes fra vedvarende græsmarker, vejkanter og lignende arealer (Moyer et al, 1994; Nichols et al., 2015). Afhugningen af afgrøder i forbindelse med høstarbejdet og vegetationsnedsættelsen med glyphosat før afgrødeetablering er de to væsentligste vegetationsforstyrrelser på et CA-areal, mens såarbejdet kun medfører meget begrænset jordbearbejdning. Indvandring af uønskede plantearter til CA-marker fra omkringliggende arealer uden for den almindelige omdrift kan derfor være betydelig og af et meget større omfang, end det kendes for PL. Især arter med mobile frø som f.eks. mælkebøtte, svinemælksarter og mange dueurtsarter kan nemt etablere sig på CA-arealer (Moyer et al, 1994). Tilsvarende gælder for Canadisk bakkestjerne, hvor herbicidresistente frø menes at være blevet introduceret på pløjefri arealer (Shields et al., 2006).

Litteraturen er rig på eksempler med enårige græsukrudtsarter, der fremmes af pløjefri dyrkning (Melander et al., 2013). Tabsvoldende arter som Ager-rævehale (Clarke et al., 2000), Vindaks (Melander et al., 2008), Stor væselhale (Schermer et al., 2016) og Burre-snerre (Wilson & Wright, 1991) kan danne bestande af stor økonomisk betydning, når sædskiftet samtidig fremmer deres opformering (bl.a. Melander, 1995; Melander et al., 2008). CA vil specielt kunne fremme ukrudtsarter med frø med stor villighed til at spire direkte på jordoverfladen (Moyer et al., 1994; Melander et al., 2001), forudsat at der efter et frøkast dyrkes en afgrøde, i hvilke arten kan fortsætte sin livscyklus. Det vil typiske være tilfældet ved kontinuerlig dyrkning af vinterhvede. Dyrkes der ikke en 'værtsafgrøde', eksempelvis vårsæd, kan tabet af frø til gengæld være ganske stort. En egenskab, som især kendes fra Stor væselhale (Jemmett et al., 2008), og som i Danmark har ført til store ukrudtsproblemer i marker med rødsvingel (Jensen & Kristensen, 2008) og vinterhvede dyrket ved DS (Schermer et al., 2016). I de langvarige CENTS-forsøg ved Aarhus Universitet udlagt på to

lokaliteter (Flakkebjerg og Foulum) har DS i perioder medført meget dominerende bestande af stor væselhale på Flakkebjerg-lokaliteten. Burre-snerre har også etableret markante bestande under DS på begge lokaliteter trods intensiv anvendelse af fluroxypyr i kornafgrøderne (Melander B., personlige observationer). Det er rimeligt at antage, at CA kan føre til lignende problemer.

Blandt rodukruddtsarterne er det specielt arterne Ager-tidsel, Alm. kvik og Ager-padderokke, som er i fokus under konventionel CA-dyrkning. Er der tale om økologisk CA-dyrkning skal arterne Ager-svinemælk og Følfod også føjes til listen. Den manglende forstyrrelse af jordprofilet i dybden er med til at holde rodukruddtsarternes regenerationsorganer (rødder, udløbere og jordstængler) intakte og skulle umiddelbart sikre en opformering af arterne. Nok er der referencer, som bekræfter dette for CA, men der er også litteratur, som ikke gør (Nichols et al. 2015). Varierede sædskifter, vellykkede efterafgrøder og præcis anvendelse af glyphosat til nedvisning af vegetationen før afgrødeetablering kan nedbringe rodukruddtsproblemer, hvilket bl.a. er observeret for Alm. kvik i det langvarige NT-led i CENTS-forsøgene, som har stor lighed med CA.

Trichard et al. (2013) undersøgte 52 franske CA-marker med vinterhvede og observerede også en gradvis ændring af ukrudtsfloraen mod mere rodukruddt og græsukruddt, og jo længere tid CA havde været praktiseret, desto større var tendensen. Ukrudtsfloraen ændredes også mod ukrudtstyper, som i højere grad allokerede kulhydrater fra fotosyntesen til underjordiske strukturer (udløbere, rødder og jordstængler) end til produktion af frø. Armengot et al. (2016) observerede også ændringer i ukrudtsfloraens fænotypiske udtryk under pløjefri dyrkning, men afgrødesammensætningen havde større betydning for ukrudtsfloraens sammensætning og fænotypiske udtryk end jordbearbejdningen.

3.5 Sædskiftets betydning

Et varieret sædskifte er en af de tre grundpiller i CA, hvilket også er helt nødvendigt, hvis dyrkningsformen skal lykkes i praksis (Nichols et al., 2015). Ensidede sædskifter med en stor andel af samme afgrødeart (eks. vinterhvede) eller afgrødetyper (f.eks. vintersæd) fører nemt til store og tabsgivende ukrudtsproblemer, når de kombineres med pløjefri dyrkning. Der er mange eksempler på, hvad denne uheldige kombination kan føre til af problemer med tabsvoldende enårige græsukruddtsarter og Burre-snerre (gennemgået i bl.a. Melander et al., 2013), herunder risikoen for udvikling af herbicidresistens (Moss, 2017). Under danske forhold er det især stor væselhale, som kan optræde nærmest eksplosivt under NT, samtidig dyrkning af efterårssåede afgrøder og varmt og fugtigt vejr i fremspringsperioden (Schermer et al. 2016; Schermer et al. 2017; Melander B., personlige observationer). En tilsvarende vækst kan også forventes under CA.

Diversificering af rækkefølgen af afgrøder i et sædskifte forhindrer, at tabsvoldende ukrudtsarter opformeres i afgrødearter, der passer til deres livscyklus, f.eks. vinterannuelle ukrudtsgræsser i vintersæd. En balancering af forårssåede og efterårssåede afgrøder i sædskiftet kan selvfølgelig dæmpe problemer med ukrudtsarter, der enten er stærkt sommer- eller vinterannuelle (Melander et al., 2017). Effekten kan blive

særlig god ved anvendelsen af 'stacked rotations' (Garrison et al., 2014), hvor hver afgrøde eller afgrødetype i et sædskifte dyrkes flere år i træk fremfor i ét år. Eksempelvis, dyrkes samme afgrøde to år i træk i et seks års rotationsforløb med tre afgrøder, vil det betyde, at der går fire år mellem hver gang samme afgrødeart/-type dyrkes frem for kun to år med ét år ad gangen. Ud over den tidlige forskel er mekanismerne bag de positive effekter af 'stacked rotation' ikke helt klarlagt. Mange ukrudtsarter har evnen til etablering både forår og efterår (eks. Lugtløs kamille og Alm. fuglegræs), og disse arter kræver en endnu højere grad af diversificering af sædskiftet, hvis de skal undertrykkes mærkbart. Det samme kan siges om rod ukrudtsarterne Ager-tidsel og Alm. kvik, som f.eks. ikke hæmmes af en 50:50 blanding af vårsæd og vintersæd. Forskellige såtidspunkter om foråret [f.eks. april (vårbyg) versus maj (majs)] og efteråret [vinterraps (august) versus vinterrug (oktober)], større blandinger af afgrødearter (korn, bælgsæd og korsblomstrede arter) samt ikke mindst afgrøder med forskellige livsvarigheder er alle elementer, som kan øge diversificeringsgraden af et sædskifte. En 2-3 årig periode med f.eks. kløvergræs eller lucerne kan mere end halvere frøbanken i de efterfølgende afgrøder – en effekt, som stadig er tilstede i op til 3 år efter afslutningen på en flerårig afgrøde (Melander et al. 2020; Nichols et al. 2015). Flerårige afgrøder til bioenergi og bioraffinering (eks. planteproteiner) rummer et stort potentiale som ukrudtssanerende afgrøder i de fleste dyrkningssystemer herunder CA. Flerårige bioafgrøder, der afhugges én eller flere gange i vækstsæsonen, vurderes at kunne bekæmpe ager-tidsel og ager-svinemælk ganske effektivt. Jordens indhold af levedygtige ukrudtsfrø vurderes også at falde markant, fordi der ikke tilføres jorden nye ukrudtsfrø, så længe den flerårige afgrøde dyrkes. Og fordi de fleste ukrudtsfrø kun har kort levedygtighed ved ophold i jord. Desto længere tid bioafgrøden dyrkes, desto større vil effekten være. Resultatet kan blive betydeligt renere afgrøder – og dermed et mindre behov for herbicider – i de første år efter en flerårig bioafgrøde.

3.6 Efterafgrøder og plantedække

Et kontinuerligt plantedække er den tredje grundpille i CA foruden et varieret sædskifte og minimal forstyrrelse af jorden. I perioderne med efterafgrøder er det vigtigt, at de danner en tæt og konkurrencedygtig stængel- og bladmasse. Efterafgrødearter med en god etableringsevne og hurtig tilvækst konkurrerer bedst med ukrudtet. Især arter indenfor korsblomstfamilien har sådanne egenskaber, men også arter med allelopatiske egenskaber både under væksten, og senere som dødt plantemateriale efter nedvisning, kan hæmme ukrudtet i betydelig grad (Teasdale, 2018). Flere rod ukrudtsarter kan opformeres betragteligt i perioden efter høst og frem til næste hovedafgrøde etableres (f.eks. Permin, 1982). Da CA kan fremme rod ukrudtsarter er det helt afgørende for en god ukrudtsbekæmpelse, at efterafgrøderne hæmmer rod ukrudtets opformeringsmuligheder mest muligt. Hvor stor betydning efterafgrøderne har for det enårige ukrudt er imidlertid mindre klart og vil helt afhænge af, om ukrudtet er i stand til at producere levedygtige frø i perioden mellem hovedafgrøderne. Under alle omstændigheder vil en veletableret og konkurrencedygtig efterafgrøde kunne hæmme både rod- og frø ukrudt.

CA undersøges for nuværende under økologiske forhold i projektet CarbonFarm. De foreløbige erfaringer viser, at der er betydelige udfordringer med at få etableret tilstrækkeligt konkurrencedygtige efterafgrøder til at hæmme ukrudtet i perioden mellem hovedafgrøderne (Nielsen, 2019). Tilsvarende erfaringer er der også gjort i et finsk studium, hvor især rodukrudt blev opformeret i efterafgrøder etableret ved pløjefri dyrkning sammenlignet med etablering under PL-forhold (Salonen & Ketoja, 2020). Grundet de milde danske vintre er der flere efterafgrødearter, som overvintrer og forstætter væksten det følgende forår og videre ind i næste afgrøde, og de kan dermed blive et ukrudtsproblem i sig selv. Lignende udfordringer blev også fremhævet i en større europæisk spørgeundersøgelse blandt 159 økologiske landmænd, som praktiserede en eller anden form for reduceret jordbearbejdning (Peigné et al., 2016). Meget få økologer praktiserede alle tre CA principper samtidigt. Mange anvendte ploven lejlighedsvis bl.a. ved afslutning af grøngødningsafgrøder og bekæmpelse af besværligt ukrudt. Mekanisk ukrudtsbekæmpelse er ikke muligt i CA, og udfordringen med at holde afgrøderne nogenlunde fri for ukrudt er markant (Peigné et al., 2007, 2016). I USA har man i en årrække arbejdet med et såkaldt 'roller crimper system', hvor efterafgrøden rulles ned med en tung tromle med knivblade. Herved knuses stænglerne, hvorved efterafgrøden dør, og en ny afgrøde kan derefter sås direkte i den nedrullede og døde 'måtte'. Laget af dødt plantemateriale fra efterafgrøden forhindrer fremspiringen og etableringen af ukrudt i hovedafgrøden (Melander et al., 2013). Teknikken har dog nogle klare begrænsninger i forhold til danske dyrkningsbetingelser (Peigné et al., 2016; Ryan M., Cornell University, personlig kommunikation). Efterafgrøderne skal være ret veludviklede før en knusning vil være effektiv og dermed kunne forhindre genvækst af efterafgrøden. For eksempel skal rug være på blomstringstidspunktet, hvilket først sker sidst i maj her i landet. Det sene nedrulningstidspunkt begrænser altså spektret af afgrødearter, der kan dyrkes efterfølgende. Efterafgrøder uden bælgeplanter vil beslaglægge megen kvælstof under deres nedbrydning, hvilket kan føre til kvælstofmangel i hovedafgrøden. I det hele taget er der stadig mange uløste problemer med 'roller crimper metoden', og med den nuværende viden anses den ikke for relevant til CA under danske forhold.

3.7 Ukrudtsbekæmpelse i omlægningsperioden til CA

Tilsvarende økologisk planteproduktion vil CA også kræve en omlægningsfase fra hidtidig dyrkningspraksis, og til CA er fuldt implementeret. En fuld implementering vil bl.a. indebære, at sædskiftet er tilpasset, afgrødeetableringen generelt lykkedes, efterafgrødedyrkningen er sat i system, og ukrudtsbekæmpelse og pesticidforbrug har fundet et stabilt niveau. I omlægningsfasen er ukrudtstrykket ofte større end ved fuld implementering (Friedrich & Kassam 2012). Forbruget af bredspektrede ukrudtsmidler mod tokimbladet ukrudtsarter er større i omlægningsfasen end senere, hvor mere specialiserede herbicider kommer i anvendelse mod rod- og græsukrudtsarter (Trichard et al., 2013). Ifølge et større fransk studium af 425 franske landmænds valg af ukrudtsbekæmpelsesmetode under omlægning til CA og ved fuld implementering, går der typisk 5 år fra omlægningen igangsættes og til ukrudtsbekæmpelsen anses for optimeret mht. brugen af forebyggende, kulturtekniske og direkte bekæmpelsesmetoder (Derrouch et al., 2020). I omlægningsfasen anvendes der typisk en bred vifte af

metoder uden et entydigt mønster, hvorefter metodevalgene bliver mere stringente, når CA er bedre implementeret. Ved fuld implementering falder antallet af herbicidsprøjtninger, hvor de selektive sprøjtninger helt overvejende udføres efter afgrødens fremspring. Herbicidanvendelse før fremspring anses for usikker pga. af faren for nedsat effekt ved store forekomster af organisk materiale i de øverste jordlag (Melander et al., 2013). Optimering af sædskiftet og brugen af skiftende såtidspunkter med henblik på at begrænse fremspiringen af ukrudt er først fuldt virksomme, når CA er velintegreret i planteproduktionen (Friedrich & Kassam 2012; Derrouch et al., 2020). Valget af efterafgrødearter, deres etablering og videre vækst er også vigtige elementer til ukrudtshæmning ved fuld implementering af CA. De adspurgte landmænd anså derimod en optimering af afgrødens konkurrenceevne via øgede udsædsmængder, ændrede rækkeafstande og f.eks. udsatte såtidspunkter som værende af mindre betydning (Derrouch et al., 2020).

3.8 Herbicidforbrug ved pløjefri dyrkning

Fra dansk side har vi tidligere gennemgået litteraturen angående effekter af pløjefri dyrkning på ukrudtsforekomsterne i de større landbrugsafgrøder herunder forbruget af herbicider rapporteret i flere nord- og centraleuropæiske studier (Melander et al., 2013). Gennemgangen viste entydigt, at herbicidforbruget stiger ved pløjefri dyrkning. Som et groft gennemsnit skal der regnes med et 20% højere forbrug, som især skyldes forbruget af glyphosat til bortsprøjtning af overlevende ukrudt og/eller efterafgrøde, før næste afgrøde etableres. Adgangen til glyphosat anses for helt afgørende for en effektiv og økonomisk realistisk gennemførelse af ukrudtsbekæmpelsen i CA (Gonzalez-Sanchez, 2017). Forbruget af græsherbicider er også større ved pløjefri dyrkning, men der er betydeligt variation, og dyrkningshistorien er meget afgørende for sprøjtebehovet.

I et nyere og meget omfattende tysk studium kom man også frem til, at pløjefri dyrkning fører til et markant højere forbrug af glyphosat, i nogle tilfælde mere end 100% højere, end ved PL (Andert et al., 2018). Undersøgelsen omfattede i alt 6813 marker med vinterhvede, vinterbyg, vinterraps, sukkerroer og majs fordelt på fem delstater i Nordtyskland. Generelt førte forbruget af glyphosat ikke til et mindre forbrug af selektive herbicider. I tre af distrikterne – dem med de højeste udbytter – var der endog et højere forbrug af selektive herbicider i vinterhvede, vinterraps og sukeroer ved pløjefri dyrkning på trods af et øget forbrug af glyphosat. Årsagen skyldes bl.a. delstaternes generelle anbefalinger til forebyggelse af herbicidresistens. I undersøgelsen skelnes der kun mellem pløjning og ingen pløjning forud for den undersøgte afgrøde. Om der er tale om erfarne pløjefri dyrkere, som kontinuerligt undlader PL, fremgår ikke af undersøgelsen.

I andet studium udført af den samme gruppe forskere undersøgte herbicidforbruget i vinterhvede, vinterbyg, vinterrug, majs og sukkerroer vha. data indhentet fra 19.876 marker fra 60 forskellige landbrug i det nordlige Tyskland (Andert et al., 2016). Fokus var sædskiftets betydning for herbicidforbruget, og til det formål blev afgrøderne grupperet efter risiko for ukrudtsopformering vurderet ud fra hvilke afgrøder, der var dyrket i de to foregående år. Eksempelvis blev vinterhvede klassificeret til 'meget høj risiko', hvis de to

foregående afgrøder også havde været vinterhvede (stor risiko for opformering af græsukrudt). Modsat var klassificeringen 'meget lav risiko' gældende, når de to foregående afgrøder tilhørte en af kategorierne rod- eller knoldfrugter, majs eller vårsæd, som alle er afgrøder, der etableres om foråret. Igen blev der skelnet imellem, om marken havde været pløjet eller ikke pløjet forud for den undersøgte afgrøde, men uden nærmere informationer om den pløjefri metode og dens kontinuerlighed. Resultaterne fra undersøgelsen er ret entydige med et signifikant højere herbicidforbrug for afgrøder tilhørende sædskifterne 'høj risiko' og 'meget høj risiko' og ingen forudgående vending af jorden. Eksempelvis var behandlingshyppigheden (TFI treatment frequency index) for sædskiftet 'meget høj risiko' 18% højere i hvede (TFI 2,0), 33% højere i byg (TFI 1,6), 50% højere i rug (TFI 1,5) og 31% højere i majs (TFI 1,7), når jorden ikke blev vendt sammenlignet med PL. Kun for sædskifte kategorierne 'lav risiko' til 'meget lav risiko' var herbicidforbruget sammenligneligt mellem PL og pløjefri dyrkning, undtagen for majs, hvor forbruget fortsat var signifikant højere ved pløjefri dyrkning. Undersøgelsen viste endvidere, at størstedelen af markerne med vintersædsafgrøderne kunne henføres til kategorierne 'høj risiko' eller 'meget høj risiko'; et mønster som også kan findes under danske forhold (Melander et al., 2013).

I Frankrig gennemfører det fransk landbrugsministerium med års mellemrum en spørgeskemaundersøgelse om bl.a. pesticidforbruget hos landmændene. Det er obligatorisk at svare på spørgeskemaet, hvis man udvælges til at deltage i undersøgelser. Udvalget af landmænd er tilfældig. Den seneste undersøgelse er gennemført i 2017 (Bonin, pers. kom.). Landmændene har bl.a. svaret på, hvilken jordbearbejdningsmetode, de anvender. I undersøgelsen skelnes mellem følgende metoder: pløjning, pseudopløjning, dekomprimering, "strip tillage", reduceret jordbearbejdning til 8-15 cm's dybde, reduceret jordbearbejdning til 0-8 cm's dybde og DS, som også omfatter CA. I tabel 3.1 er vist resultaterne for fire jordbearbejdningsmetoder og fem afgrøder, som også dyrkes i Danmark. Herbicidforbruget er opgjort som behandlingshyppighed, men resultaterne kan ikke umiddelbart sammenlignes med de danske behandlingshyppigheder, da standarddoseringerne og beregningsmetoderne ikke er identiske.

Tabel 3.1. Behandlingshyppighed for herbicider inklusiv glyphosat i Frankrig for udvalgte afgrøder dyrket ved fire forskellige jordbearbejdningsmetoder. Behandlingshyppighed angiver det antal gange et areal i gennemsnit kan behandles med en given mængde pesticider i løbet af en vækstsæson, hvis pesticiderne bliver udbragt med standarddoseringer. Direkte såning (DS) omfatter CA. Tallene i parentes angiver antal landbrug (Bonin, pers kom.).

	Jordbearbejdningsmetode			
Afgrøde	Pløjning (PL)	8-15 cm's dybde	0-8 cm's dybde	Direkte såning (DS)
Vinterhvede	1,69 (891)	2,01 (364)	1,84 (278)	1,79 (67)
Triticale	1,09 (1571)	1,26 (328)	1,27 (219)	1,49 (46)
Vinterraps	1,63 (613)	2,05 (401)	2,04 (325)	2,41 (42)
Vårbyg	1,12 (257)	1,22 (45)	1,49 (30)	2,36 (4)
Fodermajs	1,38 (1729)	1,40 (112)	1,39 (83)	1,11 (83)

Som det kan ses af tabel 3.1, så varierer antallet af landbrug meget imellem de fire jordbearbejdningsmetoder, og især antallet af landbrug, der praktiserer DS, er mindre end for de øvrige grupper, hvilket skal tages i betragtning, når metoderne sammenlignes. Med undtagelse af fodermajs og direkte sået vinterhvede har der generelt været et højere forbrug af herbicider i forbindelse med reduceret jordbearbejdning sammenlignet med pløjning, og denne opgørelse understøtter således konklusioner fra de tyske undersøgelser (Andert et al., 2016; 2018). Der er derimod ikke observeret entydige forskelle imellem de tre former for reduceret jordbearbejdning.

I forbindelse med udarbejdelsen af nærværende videnssynthesen blev det aftalt med Miljøstyrelsen, at der skulle udtrækkes pesticidforbrugsdata fra SJL databasen for landbrug, som praktiserer CA eller er ved at omlægge til CA. Formålet var at sammenligne belastningen fra herbicidforbruget på disse ejendomme med den gennemsnitlige belastning på landsplan. Med bistand fra FRDK blev der udtrukket pesticidforbrugsdata fra 29 landbrug fra årene 2014, 2017, 2018 og 2019. Samlet omfattede de 29 landbrug et areal på ca. 7.400 ha. Bedrifterne er jævnt fordelt over landet, men der er forskelle på, hvor længe de har praktiseret CA, og hvorvidt hele ejendommen er omlagt til CA. Der er dyrket mange forskellige afgrøder på de 29 landbrug inklusiv en række frøafgrøder, hvilket betød, at det kun var for afgrøderne vinterhvede (inklusiv brødhvede), vinterraps og vårbyg, at det blev vurderet, at der var et tilstrækkeligt antal observationer til at der kunne beregnes gennemsnitlige pesticidbelastninger. I tabel 3.2 er resultaterne for de fire år sammenfattet henholdsvis for glyphosat og andre herbicider. Denne opdeling er foretaget, fordi glyphosatforbruget opgøres separat i Bekæmpelsesmiddelstatistikken.

Tabel 3.2. Pesticidbelastning fra herbicidforbruget på 29 danske bedrifter, der praktiserer CA i varierende omfang. Pesticidbelastningen er beregnet på grundlag af midlernes formulering og anvendelse samt deres indhold af aktivstoffer. Tallene i parentes angiver antallet af landbrug. I kursiv er vist pesticidbelastningen fra herbicider (forbrugstal) på landsplan (Miljøstyrelsen 2015; 2019; 2020). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2019 er endnu ikke publiceret. For vinterhvede og vårbyg er referenceværdierne for henholdsvis vintersæd og vårsæd.

Afgørde	År			
	2014	2017	2018	2019
Vinterhvede	1,60 (26) <i>1,24</i>	1,00 (29) <i>1,10</i>	0,62 (24) <i>0,77</i>	1,15 (27) -
Vinterraps	1,21 (21) <i>1,32</i>	1,76 (18) <i>1,26</i>	1,21 (16) <i>1,02</i>	1,17 (23) -
Vårbyg	0,48 (23) <i>0,38</i>	0,39 (23) <i>0,28</i>	0,38 (28) <i>0,23</i>	0,33 (25) -
Glyphosat	0,09 (25) <i>0,06</i>	0,15 (28) <i>0,05</i>	0,10 (28) <i>0,04</i>	0,15 (29) -

Resultaterne i tabel 3.2 er det første danske eksempel på en sammenligning af herbicidforbruget og den tilknyttede belastning på bedrifter, der praktiserer reduceret jordbearbejdning, med den tilsvarende belastning på landsplan. I Bekæmpelsesmiddelstatistikkerne opgøres pesticidforbruget for afgrødegrupper og ikke enkelte afgrøder, så herbicidforbruget for vinterhvede og vårbyg er sammenlignet med værdierne for vintersæd og vårsæd. Da vinterhvede og vårbyg udgør hovedparten af henholdsvis vintersæds- og vårsædsarealet, vurderes det ikke at påvirke sammenligningen nævneværdigt.

I den danske opgørelse af pesticidforbrug i CA er der anvendt pesticidbelastning som parameter, da det er den indikator, der i dag anvendes i forbindelse med fastsættelse af fremtidige reduktionsmål. I 2013 blev pesticidafgiften omlagt, således at beskatningen primært afhænger af pesticidets sundheds- og miljøbelastning. Formålet var at understøtte et skift i pesticidvalg imod mindre belastende midler. I årene forud for omlægningen af pesticidafgiften var der sket hamstring af nogle af de produkter, der steg mest som følge af omlægningen, dvs. at forbrugsmønstret i 2014 var stort set upåvirket af omlægningen af afgiften. I perioden 2017-19 kan det forventes, at effekten af den omlagte pesticidafgift er slået igennem.

Der foreligger p.t. kun landsdata fra 2014, 17 og 18. De eneste konsistente forskelle er en højere belastning i vårbyg og fra glyphosat på CA ejendommene. Den højere belastning i vårbyg kan eventuelt skyldes en større andel af udlægsmarker, da en række af de mindst belastende herbicider ikke kan anvendes i vårbyg med udlæg. Derimod kan den større belastning fra glyphosat tilskrives et større forbrug på CA ejendommene.

Med tanke på pløjningens sanerende effekt over for ukrudt er det højere forbrug af herbicider ved reduceret jordbearbejdning forventelig. De tyske og franske resultater, der er citeret i dette kapitel, viser, at målsætningen om en øget implementering af IPM herunder en mindre afhængighed af herbicider kan blive en særlig stor udfordring at opfylde på ejendomme, der praktiserer reduceret jordbearbejdning. Den danske undersøgelse af herbicidforbruget på 29 CA ejendomme har vist, at når herbicidforbruget opgøres som belastning, er forskellene imellem CA og bedrifter med konventionel jordbearbejdning mindre entydige. Forbruget og belastningen af glyphosat er markant højere på CA ejendommene, men da glyphosat vægter meget lidt i den totale belastning fra herbicider, spiller dette en mindre rolle i det samlede pesticidregnskab

3.9 Referencer

- Andert S., Bürger J., Stein S. & Gerowitt B. (2016). The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy* 77, 81-89.
- Andert S., Bürger J., Mutz J.E. & Gerowitt B. (2018). Patterns of pre-crop glyphosate use and in-crop selective herbicide intensities in Northern Germany. *European Journal of Agronomy* 97, 20-27.
- Armengot L., Blanco-Moreno J.M., Bàrberi P., G. Bocci G., Carlesi S., Aendekerk R., Berner A., Celette F., Grosse M., Huiting H., Kranzler A., Luik A., Mäder P., Peigné J., Stoll E., Delfosse P., Sukkel W., Surböck A., Westaway S. & Sans F.X. (2016). Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 222, 276-285.
- Blubaugh C.K. & Kaplan L. (2015). Tillage compromises weed seed predator activity across developmental stages. *Biological Control* 81, 76-82.
- Clarke, J., S. Moss, and J. Orson. (2000). The future for grass weed management in the UK. *Pesticide Outlook* – April 2000: 59-63.
- Derrouch D., Chauvel B., Felten E. & Fabrice Dessaint (2020). Weed Management in the Transition to Conservation Agriculture: Farmers' Response. *Crop Protection* (submitted).
- Friedrich T. & Kassam A. (2012). No-till farming and the environment: Do no-till systems require more chemicals? *Outlooks on Pest Management* – August 23, 153-157.

- Garrison A.J., Miller A.D., Ryan M.R., Roxburgh S.H. & Shea K. (2014). Stacked Crop Rotations Exploit Weed-Weed Competition for Sustainable Weed Management. *Weed Science* 62, 166-176.
- González-Sánchez, E. J., García, M.M., Kassam, A. & Carera, A.H. (2017). Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe, European Conservation Agriculture Federation (ECAAF): 184pp. <http://www.ecaf.org/downloads/books/23-conservation-agriculture-climate-change-report/file>
- Jemmett E.D., Thill D.C., Rauch T.A., Ball D.A., Frost S.M., Bennett L.H., Yenish J.P. & Rood R.J. (2008). Rattail fescue (*Vulpia myuros*) control in chemical-fallow cropping systems. *Weed Technology* 22, 435-441.
- Jensen P.K. & Kristensen K. (2013). Annual grasses in crop rotations with grass seed production—a survey with special focus on *Vulpia* spp. in red fescue production. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science* 63, 604-611.
- Melander B. (1994). Impact of non-inversion tillage on weeds in temperate regions. Pages 49-58 in F. Tebrügge and A. Böhrsen eds. Workshop I of EU Concerted Action 27-28 June: Experiences with the applicability of no-tillage crop production in the West-European Countries. Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen, Germany.
- Melander B. (1995). Impact of drilling date on *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter cereals. *Weed Research* 35, 157-166.
- Melander, B., N. Holst, P.K. Jensen, E.M. Hansen, & Olesen, J.E. (2008). *Apera spica-venti* population dynamics and impact on crop yield as affected by tillage, crop rotation, location and herbicide programmes. *Weed Research* 48, 48-57.
- Melander B., Munier-Jolain N., Charles R., Wirth J., Schwarz J., van der Weide R., Bonin L., Jensen P.K. & Kudsk P. (2013). European Perspectives on the Adoption of Non-Chemical Weed Management in Reduced Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technology* 27, 231-240.
- Melander B., Liebman M., Davis A.S., Gallandt E.R., Bàrberi P., Moonen A.C., Rasmussen J., von der Weide R. & Vidotto F. (2017). Non-Chemical Weed Management. Chapter 9 in: *Weed Research. Expanding Horizons*, (Editors: P.E. Hatcher & R. Froud-Williams). John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK, 245-270.
- Melander B., Rasmussen I.A. & Olesen J.E. (2020). Legacy effects of leguminous green manure crops on the weed seed bank in organic crop rotations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (submitted 7 February 2020).
- Menalled F.D., Gross K.L., & Hammond M. (2001). Weed aboveground and seedbank community responses to agricultural management systems. *Ecological Applications* 11, 1586-1601.

- Miljøstyrelsen (2015). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2014. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salgsstatistik og sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 13.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/12/978-87-93435-00-1.pdf>
- Miljøstyrelsen (2019). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2017. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Revideret udgave. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/06/978-87-7038-077-5.pdf>
- Miljøstyrelsen (2020). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2020. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning baseret på salg og forbrug. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 45.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/09/978-87-7038-233-5.pdf>
- Moss S. (2017). Herbicide Resistance in Weeds. Chapter 7 in: Weed Research. Expanding Horizons, (Editors: P.E. Hatcher & R. Froud-Williams). John Wiley & Sons Ltd, West Sussex (UK), 181-214.
- Moyer, J., Roman, E., Lindwall, C., Blackshaw, R., (1994). Weed management in conservation tillage systems for wheat production in North and South America. Crop Protection 13, 243-259.
- Nichols V., Verhulst N., Cox R. & Govaerts B. (2015). Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. Field Crops Research 183, 56-68.
- Nielsen J.A. (2019). Kan conservation agriculture og økologisk landbrug kombineres? Momentum+ nr. 4, 21-23.
- Peigné, J., B.C. Ball, J. Roger-Estrade, & C. David. (2007). Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use Manage. 23: 129-144.
- Permin O. (1982). Produktion af underjordiske udløbere hos alm. kvik ved vækst i konkurrence med byg og andre landbrugsafgrøder. Tidsskrift for Planteavl 86, 65-77.
- Salonen J. & Ketoja E. (2020). Undersown cover crops have limited weed suppression potential when reducing tillage intensity in organically grown cereals. Organic Agriculture 10, 107-121
- Scherner A., Melander B. & Kudsk P. (2016). Vertical distribution and composition of weed seeds within the plough layer after eleven years of contrasting crop rotation and tillage schemes. Soil & Tillage Research 161, 135-142.
- Scherner A., Melander B., Jensen P.K., Kudsk P. & Avila L.A. (2017). Germination of Winter Annual Grass Weeds under a Range of Temperatures and Water Potentials. Weed Science 65, 468-478.
- Shields E., Dauer J., VanGessel M. & Neumann G. (2006). Horseweed (*Conyza canadensis*) seed collected in the planetary boundary layer. Weed Science 54, 1063-1067

- Teasdale, J.R., (2018). *The use of rotations and cover crops to manage weeds*. Chapter 12 in: Integrated weed management for sustainable agriculture. Editor R.L. Zimdahl. Burleigh Dodds Science Publishing (www.bdspublishing.com), Cambridge, UK, 227-260.
- Thomsen M.G., Brandsæter L.O. & Fykse H. (2013). Regeneration of Canada Thistle (*Cirsium arvense*) from Intact Roots and Root Fragments at Different Soil Depths Weed Science 61, 277-282.
- Trichard A., Alignier A., Chauvel B. & Petit S. (2013). Identification of weed community traits response to conservation agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 179, 179-186.
- Trichard A., Ricci B., Ducourtieux C. & Petit S. (2014). The spatio-temporal distribution of weed seed predation differs between conservation agriculture and conventional tillage. Agriculture, Ecosystems and Environment 188, 40-47.
- Wilson, B. J., and K. J. Wright. (1991). Effects of cultivation and seed shedding on the population dynamics of Galium aparine in winter wheat crops. Pages 813-820 in Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Weeds, Vol. 2: British Crop Protection Council.

4 Effekter på svampesygdomme og skadedyr af dyrkningsformerne indenfor CA

Lise Nistrup Jørgensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

4.1 Svampesygdomme i relation til jordbearbejdning

Med hensyn til plantesygdomme anses inkorporering af planterester med pløjning traditionelt, som en effektiv metode til at minimere angreb i efterfølgende afgrøder (Page et al., 2013; Bockus & Shroyer, 1998). Dette gælder dog kun, når der er tale om sygdomme som spredes via planterester eller er jordbårne patogener (Page et al., 2013; Bockus & Shroyer, 1998). Jordbearbejdning har således ringe indflydelse på patogener, der overlever på alternative værter mellem høst og såning og har ingen indvirkning på vindsprede patogener som rust (*Puccinia* spp) og meldug (*Blumeria graminis*).

4.1.1 Problemer med bladsygdomme

Der findes flere kilder, der beskriver øgede angreb af bladsygdomme i korn ved ensidig dyrkning af byg eller hvede kombineret med reduceret jordbehandling, fordi plante patogener svampe overlever på planterester (Yarham og Hirst, 1975). Der findes dog også indikationer på, at angreb af visse plantesygdomme er lavere når der praktiseres reduceret jordbearbejdning, hvilket man bl.a. har set for meldug og septoria (Jørgensen og Olsen, 2007). I tabel 4.1 er vist en kort oversigt over, hvordan jordbearbejdning kan påvirke specifikke kornsygdomme.

Et eksempel på en sygdom, der spredes via halm og stubrester, er hvedebladplet (*Pyrenophora tritici-repentis*), som hovedsageligt angriber hvede. Der findes flere såvel danske som udenlandske undersøgelser, som har vist et signifikant højere angreb af hvedebladplet i parceller med reducerede jordbearbejdning og direkte såning i forhold til konventionel pløjning (Bankina et al., 2015; Jørgensen & Olsen, 2007). Bankina et al. (2015) fandt i et 3-årigt forsøg fra Letland med vedvarende hvede, et højere angreb af hvedebladplet efter reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionel pløjning. Derimod fandt man ingen signifikante forskelle mellem de to systemer, når den tidligere afgrøde var vårraps eller vinterraps.

I byg er set en stigning i angreb af bygbladplet (*Pyrenophora teres*) og skoldplet (*Rhynchosporium commune*) (Rasmussen, 1984; Rasmussen, 1988), hvor der er praktiseret reduceret jordbearbejdning og dyrkning af byg efter byg. Tilsvarende er der set stigning i angreb af både bygbladplet og skoldplet i irske undersøgelser (Fortune et al., 2003). Man har ligeledes i norske undersøgelser set en stigning i angreb af skoldplet, når byg blev dyrket kontinuerligt kombineret med reduceret jordbearbejdning (Elen, 2003). I de norske undersøgelser fandt man ligeledes en stor stigning i angrebene af havrebladplet (*Stagonospora avenae*) ved kontinuerlig havre og reduceret jordbearbejdning, hvor alene ændring til en anden afgrøde reducerede angrebene svarende til 17 gange.

Hvedegråplet (*Zymoseptoria tritici*) overlever på planterester, men spredes også med vinden, så virkningen af jordbearbejdning på *Septoria* kan variere afhængigt af placeringen af inokulum. Hvedegråplet anses for den mest udbredte sygdom i Danmark. Generelt for denne sygdom gælder, at uanset jordbearbejdning vil der være smitstof til rådighed i alle marker. Hvorvidt der vil ske tabsgivende angreb afhænger derfor ikke alene af jordbearbejdningen, men også af de efterfølgende smittebetingelser (nedbørshændelser). I marker med vedvarende hvede og reduceret jordbearbejdning vil hvedebladplet typisk udkonkurrere hvedegråplet, hvilket tilskrives at hvedebladplet har en meget kortere livscyklus, 5-7 dage –som er 3-4 gange hurtigere end hvedegråplet. Hvedebladplet vil derfor hurtigere tage pladsen op på bladene.

Stover et al. (1996) fandt i et 3-årig forsøg foretaget i North Dakota, USA, at graden af bladsygdomme i hvede var højere under reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning først på vækstsæsonen, mens der senere på sæsonen ikke blev fundet nogen væsentlige forskelle. Dette resultat kan potentielt indikere, at jordbearbejdningssystemerne kan være vigtigere i den tidlige sæson, end i den sene sæson. Dette vil dog afhænge af klimatiske forhold i den tidlige og sene sæson. Generelt vurderes reduceret jordbearbejdning at øge jordens fugtighed på grund af større indhold af organisk materiale (kapitel 7), hvilket kan favorisere plante patogenernes udvikling, især i det tidlige forår, når afgrøden er tættere på jordoverfladen (Gruber et al., 2011).

To af de vigtigste sygdomme i majs er majsbladplet (*Exserohilum turcicum*) og majsøjeplet (*Kabatiella zea*) og begge disse sygdomme øges ved forfrugt majs og pløjefri dyrkning (Jørgensen 2012).

Tabel 4. 1: Risiko for sygdomme og skadedyr ved pløjefri dyrkning sammenlignet med pløjede systemer og muligheder for at reducere/forebygge skader ved hjælp af sortsvalg, sædskifte og afgrødevalg. Skemaet fortæller ikke hvad der vil ske, men hvilke risici, man skal være opmærksom på. (Fra Thorsted et al. 2017).

	RISIKO VED DENNE FORFRUGT	ØGET	UÆNDRET	MINDSKET	MULIGHED FOR AT REDUCERE VIA SORTSVALG
SVAMPESYGDOMME					
Hvedebladplet	Hvede	xxxx			(Ja)
Septoria ¹⁾	Hvede		x	x ¹⁾	Ja
Skoldplet	Byg	xx			Ja
Bygbladplet	Byg	xx			Ja
Aksfusarium	Majs og korn	xxx			Ja
Goldfodsyge	Korn (ekskl. havre)		x	(x)	Nej
Knækkefodsyge	Korn (ekskl. havre) i de seneste to år		x		Nej
Meldug	Kun smitte fra samme kornart			x	Ja
Rustsvampe	Kun smitte fra samme kornart	x			Ja
Trådkølle	Vinterbyg (kun risiko ved angreb i vinterbyg)	xx			Nej
Hvedegulstrib	Rajgræs	xx			Nej
Meldrøjer	Rug (kun risiko ved angreb i rug)	xx			Ja
Stinkbrand	Hvede	x			Nej. Hvede er almindeligvis bejdset. Evt. spildplanter af hvede vil derimod være ubejdsede.
Majsøjeplet	Majs	xxxx			(Ja)
Majsbladplet	Majs	xxxx			(Ja)
VIRUSSYGDOMME					
Havrerødsot	Græs og stub med meget græs-ukrudt/spildkorn (overføres via bladlus)	xx			Nej
SKADEDYR					
Agersnegle ²⁾	Alle, men især efter "fugtige" forfrugter som f.eks. raps	xxx ²⁾	x ²⁾		Nej
Bladlus				x	Nej
Havre- og roecystenematoder	Ved kom hhv. roer i sædskiftet			x	Ja
Kålfluer	Angriber raps			x	Nej
Majshalvmøl	Majs	xxxx			Nej
Jo flere krydser, desto større betydning har pløjefri dyrkning for angrebsstyrken. x= lille betydning, xxxx=stor betydning. 1) Til tider er der ikke "plads" til Septoria pga. angreb af hvedebladplet. 2) Afhængig af forholdene i marken kan pløjefri dyrkning både øge og hæmme problemerne med snegle. Ved grubbesåning er der større problemer med snegle					

4.1.2 Problemer med akssygdomme

Fusariumsvampe kan angribe akset hos alle vores kornarter (Jørgensen et al., 2014). Angrebene øges efter pløjefri dyrkning og ensidig korndyrkning (Krebs et al., 2000). Komplexet af fusariumsvampe giver anledning til angreb af aksfusarium og flere af arterne producere samtidig mycotoksiner. *Fusarium graminearum* og *Fusarium culmorum* anses for de vigtigste fusariumsvampe i Danmark bl.a. fordi de producere skadelige mycotoxiner (Nielsen et al., 2011). I Danmark har man set de højeste niveauer af fusariumtoxiner i marker med reduceret jordbearbejdning og forfrugt majs eller hvede (Jørgensen et al. 2014). Tilsvarende har man i en undersøgelse foretaget af Váňová et al. (2011) fundet at der i løbet af et 4-årig projekt gennemført i Tjekkiet, var et betydeligt højere indhold af deoxynivalenol (DON) produceret af *F. graminearum* i korn som kom fra reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning med pløjning til 20 cm dybde. Ligeledes fandt, Dill-Macky & Jones (2000) i en 3-årig undersøgelse gennemført i Minnesota, USA, et betydeligt højere angreb af Fusarium efter reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning. Den gode effekt af pløjning på risikoen for fusarium tilskrives nedpløjning af inficerede planterester, som mindsker risikoen for spredning af både kønnede og ukønnede sporer (Dill-Macky & Jones, 2000; Bockus & Shroyer, 1998).

Fusariumtoksinet deoxynivalenol (DON) kan give nedsat tilvækst og diarreproblemer hos grise, mens toksinet zearalenon (ZEA) kan være årsag til reproduktionsproblemer. Der er fastlagt EU grænseværdier for DON og ZEA i korn til human ernæring (Jørgensen et al., 2014). Mycostoxinerne nivalenol, T2 og HT-2 er også af betydning, men generelt er niveauerne lavere. For T2 og HT-2 er problemerne mest kendte fra byg og havre (Nielsen et al 2014), da de fusariumarter der producere disse toxiner har præference for disse kornarter. I Danmark vurderes problemerne med fusarium toxin i kornet er være begrænset (Nielsen et al., 2011). Hvis man ved CA afstår fra såning af hvede efter majs og hvede vurderes problemerne med aksfusarium kun at give problemer i år med meget fugtige forhold under blomstring – ca. 1 år ud af 10 (Olesen et al., 2002).

4.1.3 Jordbårne sygdomme

Angrebsgraden af jordbårne patogener, der inficerer gennem rødder eller sidder på de nedre stængeldele påvirkes af jordbearbejdning, men effekten er dog langt fra entydig. Visse kilder beskriver, at der er en forøgelse af angreb efter reduceret jordbearbejdelse, mens andre viser det modsatte eller ingen effekt.

Goldfodsyge (*Gaeumannomyces graminis*) er en frygtet sygdom i sædskiftet og kendt for at kunne reducere udbyttet med 10-20% (Bødker et al. 1990). Hos denne svamp fungerer myceliet som inokulum og overlever på rester, og kan derfra spredes til rødder af nye planter. Uden pløjning menes den mikrobielle nedbrydning at være langsommere, og dermed har patogenet en større chance for at overleve mellem værterne (Bockus & Shroyer, 1998). Selv om patogenet kan have en højere chance for at overleve uden pløjning, kan patogenet med tiden reduceres, hvis der dyrkes kontinuerlig hvede på grund af det såkaldte

declinefænomen. Med kontinuerlig hvede, øges populationen af antagonistiske mikroorganismer som vil bidrage til at holde angrebene af goldfodsyge i nede (Alabouvette et al., 2004).

Angreb af knækkefodsyge (*Oculimacula yallundae*) er ligeledes beskrevet til både at kunne stige og falde i angrebsniveau efter reduceret jordbearbejdning. Mantanari et al., (2006) fandt en stigning i angrebene af knækkefodsyge efter reduceret jordbearbejdning i et 3 årigt forsøg fra Norditalien. Modsat disse resultater fandt man i Tjekkiet, et signifikant højere niveau efter konventionel pløjning i et 4 årigt studie, hvor man sammenlignede med en mere overfladisk jordbearbejdning (Vanova et al., 2011).

Angreb af rodråd forårsaget af *Bipolaris sorokiniana* har man set blive reduceret under reduceret jordbearbejdning. Infektioner af *B. sorokiniana* er kendt for at stige under tørke perioder, muligvis på grund af mere modtagelige rødder under tørkestress. Med den øgede vandtilgængelighed under reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning har man således observeret et fald i angrebene (Bockus & Shroyer, 1998).

4.1.4 Diskussion af CA effekt på sygdomme

Som konsekvens af erfaringerne med kraftigere angreb af visse sygdomme i hvede efter reduceret jordbearbejdning er det i dag relativt sjældent, at der dyrkes hvede efter hvede hos landmænd, der dyrker jorden pløjefrit. Der findes desuden artikler som belyser at en biologisk aktiv jord medvirker til at begrænse skadelige sygdomme ligesom der er en vis dokumentation for at regnorme, som typisk forekommer hyppigere under CA forhold kan have en positiv effekt på nedbrydningen af halm og samtidig hjælpe til at kunne reducere angreb af fusarium og nedsætte indholdet af mycotoxiner (Wolfarth et al., (2011)).

De forskellige måder at praktisere reduceret jordbearbejdning kan påvirke svampesygdommenes udvikling forskelligt. De fleste undersøgelser har fokuseret på at sammenligne forskellige typer af reduceret jordbearbejdning med konventionel pløjning. Da CA fokuserer meget på at holde jorden plantedækket kan det ikke udelukkes at man ikke umiddelbart kan overføre resultaterne fra reduceret jordbehandling til CA. Sammenfattende kan man konkludere, at problemerne med plantesygdomme i forbindelse med reduceret jordbearbejdning og CA afhænger af mange forskellige faktorer, hvor af sædskiftet og klimatiske forhold er af største betydning.

Pløjefri dyrkning i kombination med en stor andel af korn i sædskiftet vurderes at øge risikoen for et angreb af en række blad- og akksygdomme. Men der findes ingen dokumentation for om fungicidindsatsen hos landmænd, der praktiserer CA, er større end hos avlere med konventionel jordbearbejdning.

4.2 Skadedyr

4.2.1 Generelle effekter på jordboende skadedyr

Pløjning har generelt været brugt som et element, der kan hjælpe til at bekæmpe visse jordbårne skadedyr, idet en pløjning vil kunne ødelægge deres levesteder. Således er det nævnt, at reduceret jordbearbejdning vil øge bestanden af visse arter, som trives godt ved mindre jordforstyrrelse, hvorved leve- og overvintringssteder beskyttes. Det gælder bl.a. for majshalvmøl, som overlever i planterester på jordoverfladen. Reduceret jordbearbejdning kan også ændre ukrudtssamfund sammenlignet med konventionel jordbearbejdning, hvilket kan medføre en ændring i sammensætningen af skadedyr på grund af en stærk forbindelse til ukrudt for visse arters vedkommende (Stinner & House, 1990; Thorbek & Bilde, 2004)

I "No-till" systemer med permanent plantedække, som karakteriserer CA, observeres der større forekomster af insekter sammenlignet med reduceret jordbearbejdning (se også kapitel 8). Dette skyldes, at der over en længere periode både er uforstyrrede forhold samt næring fra plantedække. Effekterne afhænger dog af hvilke insektarter, der specifikt er tale om og deres livscyklus. I en meta-analyse udført af Stinner & House (1990) fandt man fra 45 studier, at 28% af de skadelige arter og deres skader blev forøget ved CA, 43% blev reduceret, mens resten ikke var påvirket signifikant med hensyn til tæthed og skader på afgrøden. Den reducerende effekt på skadedyr i CA, kan medvirke til sænkning af behovet for sprøjtning med insecticider, men der findes ikke data der underbygger dette forhold.

Der findes litteratur, som beskriver, at agersnegle fremmes af pløjefri dyrkning, blandt andet fordi sneglene ikke forstyrres og har mange planterester til rådighed (Voss et al., 1998). Sneglene vil ved en pløjning i stort omfang blive slået ihjel eller skadet så meget, at de ikke er i stand til at bevæge sig tilbage til de øverste jordlag efter at være blevet placeret ca. 20 cm nede i jorden. Der findes dog også praktiske erfaringer som viser, at problemer med snegle kan mindskes ved reduceret jordbehandling (Nielsen, GC 2019), hvilket tilskrives, at sneglene har dårligere bevægelsesmuligheder i jorden (færre hulrum), når pløjning undlades. En pløjning vil således ofte efterlade flere hulrum end harvninger, alt afhængig af jordtype og udførsel. Findes der mange snegle på jordoverfladen, er det dog velkendt, at en pløjning med pakning kan reducere bestanden betragteligt.

På de fleste pløjefri arealer harves der straks efter høst. En indsats der også er god imod snegle. Foretages der harvning før såning, og vinterhveden sås relativt dybt (4 cm contra 2 cm), minimeres risikoen for snegleangreb væsentligt. Alvorlige angreb af snegle i pløjefri systemer kan mindskes, hvis der anvendes en ret intensiv stubbearbejdning før etableringen. Dette giver dels en direkte bekæmpelse af sneglene, men det giver også en langt bedre mulighed for at så kernerne i ca. 4 cm's dybde og dække dem med jord, hvilket minimerer risikoen ganske betydeligt. Der er større problemer med snegle i raps, hvor der er grubbesået. Dette skyldes, at jorden som regel er urørt indtil såningen, og at rapsen er koncentreret i få rækker med et hulrum under, hvor sneglene lettere kan bevæge sig. Risikoen for snegleangreb ved grubbesåning kan reduceres ved at harve før grubbesåning (Thorsted et al 2017).

4.2.2 Generelle effekter på nyttedyr og bestøvere

Som en effekt af den mindre forstyrrelse af jorden ses en positiv effekt på antallet af gavnlige insekter (naturlige fjender af skadedyrene), idet der sker mindre direkte skade på dyrene og mindre forstyrrelse af levesteder i jorden (Thorbek & Bilde, 2004). Thorbek & Bilde (2004) viste i en dansk undersøgelse, at der var et fald forekomsten af i jordboende edderkopper og løbebiller, både under konventionel jordbearbejdning og reduceret jordbearbejdning med ukrudtsharvning i de øverste 1-2 cm af jorden sammenlignet med ubehandlede arealer uden jordbearbejdninger. Imidlertid var habitatforstyrrelsen ved reduceret jordbearbejdning sammenlignet med pløjning mindre, hvilket resulterede i et mindre fald i forekomsten sammenlignet med traditionel jordbearbejdning. Specifikt har pløjning vist sig i modsætning til reduceret jordbearbejdning at nedsætte forekomsten af rovbiller sammenlignet med reduceret jordbearbejdning (Holland & Reynolds 2003). Ligeledes fandt Andersen (1999) og Andersen (2003) i norske undersøgelser store forskelle i både antallet af skadedyr og nyttedyr inden for forskellige jordbearbejdningssystemer i de første 4 år af deres forsøg, mens forskellene var mindre efter denne periode.

I flere undersøgelser har der specifikt været fokuseret på, at CA øger forekomsten af nytte-insekter, som følge af den mindre bearbejdelse og den længere periode med plantedække, som giver beskyttelse og føde til insekter igennem hele sæsonen (Nawaz & Ahmad, 2015; Stinner & House, 1990; Landis et al., 2000). Nilsson (1985) fandt i et 3 årigt studie fra Sverige et større antal af snyltehvepse i led med ingen jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning. Tilsvarende blev fundet af Shearin et al., (2007) i et 1-årigt studie udført i Pennsylvania, U.S., hvor en højere tæthed af løbebiller blev fundet i led med ingen jordbearbejdning sammenlignet med konventionel jordbearbejdning. Snyltehvepse og løbebiller fungerer sammen med andre insekter som naturlige fjender af skadedyr (Navntoft et al., 2016; Landis et al., 2000).

I danske afgrøder anses bladlus som de mest økonomisk betydende skadedyr. Som det fremgår af litteraturen er der god grund til at tro, at der er væsentlig flere naturlige fjender i pløjefrie systemer. Mængden af bladlusprædatorer har specifikt vist sig at være 16% højere under reduceret jordbearbejdning sammenlignet med konventionelt drevne marker (Tamburini et al., 2016). Blandt CA praktikerne vurderer man da også generelt, at der er færre problemer med bl.a. bladlus (Thorsted et al., 2017).

En ny dansk undersøgelse som endnu ikke er færdig publiceret har vist, at jo mere jordbearbejdning der finder sted, jo flere nytteinsekter dør eller får deres levesteder ødelagt (Jacobsen, 2018). Denne undersøgelse peger også på, at den bedste måde at opformere nyttedyr som fx regnorme, løbebiller, tusindben og edderkopper på i marken er ved CA.

CA vil også på grund af den store periode med plantedække potentielt kunne øge bestanden af bestøvende insekter. Dette er dog afhængigt af, hvilke plantearter der vælges som "cover", men afhænger også af om jordboende bier slår sig ned (Kovács-Hostyánszki et al., 2017; Shuler et al., 2005). En forøgelse

af insektbestøvende arter kan potentielt lede til en udbytteforøgelse i bibestøvede afgrøder (Blaauw & Isaacs, 2014).

4.3 Referencer

- Alabouvette, C., Backhouse D., Steinberg C., Donovan N.J., Edel-Hermann V. & Burgess L.W. (2004): Microbial diversity in soil – Effects on crop health. Chapter 8, Managing soil quality: Challenges in modern agriculture. CAB International, 2004.
- Andersen, A. (1999): Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. II. Pests and beneficial insects. Crop protection. 18, 651-657.
- Andersen, A. (2003): Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. II. Effects on pests and beneficial insects. Crop Protection. 22, 147-152.
- Bankina, B., Bimsteine G., Arhipova I., Kaneps J. & Stanka T. (2018): Importance of agronomic practice on the control of wheat leaf diseases. Agriculture, 56, doi:10.3390/agriculture8040056.
- Blaauw, B.R. & Isaacs R. (2014): Flower plantings increase wild bee abundance and the pollination services provided to a pollination-dependent crop. Journal of Applied Ecology. 51, 95, 890-898.
- Bockus, W.W. & Shroyer J.P. (1998): The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. Annual Review of Phytopathology. 36, 485-500.
- Bødker, L.; Schulz, H. & Kristensen, K. (1990). Influence of cultural practices on incidence of take-all in winter wheat and winter rye. Tidsskr. Planteavl 94,201-209.
- 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.
- Elen, O (2003) Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. III. Development of leaf diseases. Crop Protection 22(1):65-71
- Fortune, T., Kennedy, T., Mitchell, B. and Dunne, B. (2003). Reduced cultivations – agronomic and environmental aspects. Teagasc National Tillage Conference Proceedings, Carlow, January 2003, 70-82.
- Gruber, S., Möhring J. & Claupein W. (2011): On the way towards conservation tillage-soil moisture and mineral nitrogen in a long-term field experiment in Germany. Soil and Tillage Research. 115-116, 80-87.
- Holland, J.M., Reynolds, C.R. (2003). The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. Pedobiologia 47, 181-191, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031405604701912>

- Jacobsen, S.K. (2018) Løbebiller giver liv i agerlandet. til Effektiv Landbrug 15-10 2018.
- Jørgensen, L.N., Thrane, U., Collinge, D.B., Jørgensen, H.J.L., Jensen, J.D., Spliid, N.H., Nielsen, G.C., Rasmussen, P.H., Nicolaisen, M., Justesen, A.F., Giese, H., Bach, I. C. (2014) Fusarium på korn skader planter, husdyr og mennesker. http://planteforskning.dk/linux117.unoeuro-server.com/wp-content/uploads/2014/05/Fusarium-svampe-pa-korn_ny-version.pdf
- Jørgensen, L.N. (2012) Leaf diseases in maize – and overlooked problem?! Outlooks of Pest Management. August 2012 23 (4), pages 162-165.
- Jørgensen, L.N. & Olsen L.V. (2007) Control of tan spot (*Drechslera tritici-repentis*) using host resistance. Tillage methods and fungicides. Crop Protection, 26: 1606-1616.
- Holland, J.M., Reynolds, C.R. (2003). The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land. Pedobiologia 47, 181-191, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031405604701912>
- Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola A., Vanbergen A.J., Settele J., Kremen C. & Dicks L.V.(2017): Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. Ecology Letters. 20, 673-689.
- Krebs, H., Dobbois, D., Külling, C. & Forrer, H.R., (2000). Fusarium- und Toxisbelastung des Weizens bei Direktsaat. Getreide 6 (3).
- Landis, D., Wratten S.D. & Gurr G. (2000): Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology. 45, 175-201. 101
- Montanari, M., Innocenti G. & Toderi G. (2006): Effects of cultural management on the foot and root disease complex of durum wheat. Journal of Plant Pathology. 88, 149-156.
- Navntoft, S., Kristensen K., Johnsen I., Jensen A.M., Sigsgaard L. & Esbjerg P. (2016): Effects of weed harrowing frequency on beneficial arthropods, plants and crop yield. Agricultural and Forest Entomology. 18, 59-67.
- Nawaz, A. & Ahmad J.N. (2015): Insect pest management in conservation agriculture. Conservation Agriculture, Springer, Cham 2015.
- Nielsen, G.C. (2019) Forebyggelse og bekæmpelse af snegle
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantevaern/Skadedyr/Kemisk-bekaempelse/Sider/pl_pn_18_2439_Forebyggelse_og_bekaempelse_af_snegle.aspx

- Nielsen, L.K. Jensen, J.D. Nielsen, G.C. Jensen, J.E. Spliid NH, Thomsen K. Justesen AF, Collinge D.B. & Jørgensen, L.N. (2011) Fusarium Head Blight of Cereals in Denmark: Species Complex and Related Mycotoxins. *Phytopathology*, Vol 101, 8, 960-969
- Nilsson, C. (1985): Impact of ploughing on emergence of pollen beetle parasitoids after hibernation. *Journal of Applied Entomology*. 100, 302-308.
- Rasmussen, K.J., (1984). Jordbearbejdningsmetoder til vårbyg på grov sandjord. *Tidsskr. Planteavl* 88, 443-452.
- Rasmussen, K.J., (1988). Pløjning, direkte såning og reduceret jordbearbejdning til korn. *Tidsskr. Planteavl* 92, 233-248.
- Olesen, J.E. Schjønning P. Hansen E.M., Melander B. Felding G. Sandal E. Formsgård I. & Jørgensen, L.N (2002) Miljøeffekter af pløjefri dyrkning. DJF rapport nr 65. pp106
- Page, K., Dang Y. & Dalal R. (2013): Impacts of conservation tillage on soil quality, including soil-borne crop diseases, with a focus on semi-arid grain cropping systems. *Australasian Plant Pathology*. 43, 363-377.
- Shearin, A.F., Reberg-Horton S.C. & Gallandt E.R. (2007): Direct effects of tillage on the activity density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) weed seed predators. *Environmental Entomology*. 36, 1140-1146.
- Shuler, R.E., Roulston T.H. & Farris G.E. (2005): Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. *Journal of Economic Entomology*. 98, 790-795.
- Stinner, B.R. & House G.J. (1990): Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Annual Review of Entomology*. 35, 299-318.
- Stover, R.W., Francl L.J. & Jordahl J.G. (1996): Tillage and fungicide management of foliar diseases in a spring wheat monoculture. *Journal of Production Agriculture*. 9, 261-265.
- Thorbek, P. & Bilde T. (2004): Reduced numbers of generalist arthropod predators after crop management. *Journal of Applied Ecology*. 41, 526-538.
- Thorsted, MD, Nielsen, G.C., Petersen, P.H. Sandal, E. (2017). *Planteværn*. Kapitel i: Inspiration og vejledning i reduceret jordbehandling. SEGES Agro Food Park 15 8200 Aarhus N
- Tamburini, G., De Simone, S., Sigura, M., Boscutti, F. Marini, L., (2016). "Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control." *Journal of Applied Ecology* 53(1): 233-241. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12544>

- Váňová, M., Matušinsky P., Javůrek M. & Vach M. (2011): Effect of soil tillage practices on severity of selected diseases in winter wheat. *Plant, Soil and Environment*. 57, 245-250.
- Voss, M.C., Ulber, B. & Hoppe, H.H., (1998). Impact of reduced and zero tillage on activity and abundance of slugs in winter oilseed rape. *Z. Pflanzenkr. Pflanzensch.* 105, 632-640.
- Wolfarth, F., et al. (2011). "Earthworms promote the reduction of Fusarium biomass and deoxynivalenol content in wheat straw under field conditions." *Soil Biology and Biochemistry* 43(9): 1858-1865.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071711001957>
- Yarham, D. & Hirst, J.M., (1975). Diseases in reduced cultivation and direct drilling systems. *EPPO Bull.* 5, 287-296

5 Drivhusgaseffekter af dyrkningsformerne ved CA

Lars J. Munkholm og Elly Møller Hansen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

5.1 Effekten på kulstoflagringen i jorden

Pløjefri dyrkning blev i mange år opfattet som et omkostningseffektivt virkemiddel til at øge jordens kulstofindhold (Smith et al. 2008). Denne antagelse var primært baseret på studier af jordbearbejdningseffekt på jordens kulstofindhold i pløjelaget (0-25 cm) (West og Post 2002) og på studier, som viste, at intensiv jordbearbejdning øger omsætningen af organisk stof i jorden kort efter jordbearbejdning (Reicosky og Archer 2007; Chatskikh og Olesen 2007). Som følge af bl.a. disse studier inkluderede IPCC pløjefri dyrkning som en del af deres 2006 "guidelines" for opgørelse af kulstofændring i jord (Eggleston et al. 2006) og pløjefri dyrkning er fortsat inkluderet i den reviderede 2019 udgave (Ogle et al. 2019). I den danske indrapportering vedr. drivhusgasemissioner indgår pløjefri dyrkning imidlertid ikke som en faktor, da CO₂ udledningen fra landbrugsjord beregnes på basis af statistik over arealanvendelse og C-TOOL modellering (Nielsen et al., 2019). Nyere studier viser imidlertid, at pløjefri dyrkning primært forårsager en omfordeling af kulstoffet imellem jordlagene – mere kulstof nær jordoverfladen og mindre i underjorden (Ogle et al., 2012) – og at den samlede effekt af pløjefri dyrkning har været overvurderet (Powlson et al. 2014; Meurer et al. 2018). Sidstnævnte angiver en effekt for direkte såning på < 0,1 t C/ha/år for jorde med nordligt tempereret klima. Effekten er dog variabel og vil være afhængig af de specifikke forhold (Ogle et al., 2019). En ny metaanalyse viser, at effekten af direkte såning aftager med øget nedbør/koldere klima og er lille eller ubetydelig under kolde og nedbørsrige forhold som de danske (Sun et al. 2020). Analysen viste desuden sammenhæng mellem effekt af direkte såning på udbytte og kulstoflagring – jo større problemer med at opretholde udbyttelniveauet i forhold til pløjning des mindre effekt på kulstoflagringen. Generelt har det vist sig, at direkte såning klarer sig bedst udbyttemæssigt under varme og tørre forhold og at udbyttetabet stiger med øget nedbør/koldere klima (se kapitel 2). Sun et al. (2020) viser klart, at det er af afgørende betydning for kulstoflagringen, at udbytter ved pløjefri dyrkning er på linje med eller højere end ved traditionel jordbearbejdning. Det er også vigtigt at fremhæve, at en given effekt på kulstoflagringen vil være aftagende over tid, da jordens kulstofindhold vil finde en ny ligevægt i løbet af nogle årtier (Chenu et al., 2019).

Danske studier har vist en variabel og generelt set beskeden effekt af pløjefri dyrkning på kulstoflagringen under det generelt set våde og kolde danske klima (Hansen et al. 2015; Nielsen og Jensen 2014; Schjøning og Thomsen 2013; Rasmussen 1999). Schjøning og Thomsen (2013) undersøgte effekten af reduceret jordbearbejdning i 11 danske og sydsvenske forsøg, som havde været dyrket med forskellig jordbearbejdning i 2-36 år, og som primært var på lerjord. Der blev taget prøver i pløjelaget/tidligere pløjelag. Der var tendens til et øget kulstofindhold i den bearbejdede zone (typisk 0-5 eller 0-10 cm) for reduceret jordbearbejdning og tendens til mindre kulstofindhold i den underliggende ubearbejdede zone (typisk 5-20 eller 10-20 cm). Samlet var der en tendens til højere kulstoflagring for reduceret (64,8 t C/ha)

end for pløjet (62,0 t C/ha) i 0-22 cm dybde. Der var dog kun en sikker forskel mellem pløjet og reduceret jordbearbejdning i ét ud af de 11 forsøg. Det var for det 8-år gamle Bramstrup forsøg, som var på en JB5 jord med lavt kulstofindhold som udgangspunkt (1,0 g C/100 g jord i de pløjede led). Nielsen og Jensen (2014) fandt også en tendens til øget kulstofkoncentration i overjorden (0-25 cm dybde) ved reduceret jordbearbejdning sammenlignet med pløjning for 17 markpar fra praksis. Tendensen var stærkest for 0-5 cm laget, selvom den heller ikke for dette jordlag var signifikant.

Sammenligninger af direkte sået, reduceret jordbearbejdning og pløjning er foretaget i CENTS forsøgene, som startede i 2002 og er placeret på en østdansk sandblandet lerjord (JB6) ved Forskningscenter Flakkebjerg og på en lerblandet sandjord (JB4) ved Forskningscenter Foulum. I CENTS forsøgene bliver pløjefri dyrkning undersøgt i fire forskellige kornbaserede sædskifter varierende fra ensidig vinterafgrøder til sædskifter med 50/50 % vinter- og vårafgrøder og brug af efterafgrøder forud for alle vårafgrøder. Det mest alsidige sædskifte indgår to gange – i det ene er halmen efterladt og i det andet er den fjernet. Flakkebjerg jorden havde et relativt lavt kulstofindhold da forsøget blev påbegyndt (1,2 g C/100 g jord) i forhold til Foulum (1,9 g C/100 g jord), hvilket er typisk for henholdsvis østdanske og midtjyske morænejorde. Der er udtaget prøver ved start (2002), efter 7 år (2009) og efter 17 år (2019). I 2019 er der indtil videre kun resultater for pløjet og direkte sået for et alsidigt sædskifte med og uden fjernelse af halm. Der er målt volumenvægt i alle parceller og mange dybder i 2019. Vi har anvendt vægt af jorrd (0-50 cm dybde) fra pløjet uden halm i 2019 til beregning af kulstoflagring over tid for en ensartet mængde jord. Resultater for behandlinger fra alle tre udtagninger er vist i tabel 5.1. I 2009 blev målt højere koncentration af C for reduceret jordbearbejdning og direkte såning i 0-25 cm dybde for Flakkebjerg, som blev modsvaret af et fald i koncentrationen i 25-50 cm dybde (Hansen et al., 2015). Samlet var der ingen forskel i 0-50 cm mellem behandlingerne i 2009. Dog bemærkes, at kulstofkoncentrationen generelt set mindskes for Foulum og øges for Flakkebjerg, hvilket kan relateres til forskel i kulstofindhold fra starten af. I 2009 var der en tendens til at efterladelse af halm mindskede tabet af kulstof i Foulum og at direkte såning øgede kulstofkoncentrationen i Flakkebjerg. Denne tendens blev forstærket i 2019, hvor der er fundet signifikant effekt af halm i Foulum og af jordbearbejdning i Flakkebjerg. Halm har således resulteret i, at kulstofkoncentrationen kunne opretholdes i Foulum på samme niveau som i 2002, mens fjernelse af halm har resulteret i en nedgang på 0,21 g C/g jord, som svarer til et tab på 14,4 t C/ha (Tabel 5.2). I Flakkebjerg øgedes kulstofkoncentrationen i alle behandlinger fra 2002 til 2019. Der var en tendens til større stigning for direkte sået end for pløjet ($p=0,10$) (Gómez-Muñoz et al., 20xx), som svarer til en forskel i kulstoflagring på 3,9 t C/ha efter 17 år. Bemærkelsesværdigt, var der i Flakkebjerg en svag tendens til større kulstofkoncentration for fjernelse end for efterladelse af halm. Sidstnævnte relaterer sig til en ikke-signifikant tendens til nedgang i kulstofkoncentrationen i underjorden (25-50 cm) ved tilførsel af halm, som er svær at forklare. I Foulum var der en meget svag tendens til en nedgang i kulstofkoncentrationen for pløjet (-0,09 g C/g jord), mens det blev opretholdt for direkte sået efter 17 års forsøg. Det svarer til en forskel i kulstoflagring på 6,1 t C/ha efter 17 år (tabel 5.2). Samlet var effekten af jordbearbejdning på ændringen i

kulstofindholdet 2002-2019 tæt på signifikant ($p=0,07$) (Gómez-Muñoz et al., 20xx). Der er brug for flere undersøgelser for at afdække, om det også er tilfældet på andre jordtyper og for mere vådt klima. Spørgsmålet er desuden, om de mineralske partikler i de øvre jordlag hurtigt bliver "mættet" med kulstof (Hassink 1997) ved ingen eller meget overfladisk jordbearbejdning, og om det kan begrænse lagringen af kulstof (Chenu et al. 2019).

Den positive kulstofeffekt af efterladelse af halm i CENTS forsøget i Foulum i 2019 er i overensstemmelse med en række andre danske studier (Thomsen og Christensen 2004; Schjønning 2004). I 2009 - efter 7 års forsøg - var der ikke sikker forskel i kulstofindhold mellem vinterafgrøde-baserede og mere alsidige sædskifter med efterafgrøder. Andre forsøg har vist, at særligt efterafgrøder kan øge kulstoflagringen i jorden (Thomsen og Christensen 2004). Der regnes med en effekt på 0,27 t C/ha/år i virkemiddelkataloget vedrørende klimagasser fra landbruget (Olesen et al. 2018). Et stort internationalt metastudie har vist tilsvarende resultater (0,32 Mg C/ha/år) (Poeplau og Don 2015). Det er fælles for planterester tilført med halm eller efterafgrøde, at de vil blive mineraliseret og vil efterlade en mindre del af kulstoffet på mere stabil form. Typisk vil omkring 15% af det tilførte kulstof være tilbage efter 20-30 år (Thomsen et al. 2013).

Tabel 5.1. Koncentration af kulstof i CENTS (g C/100 g jord) forsøget i alsidigt sædskifte med og uden fjernelse af halm og målt før start (2002), efter 7 år (2009) og efter 17 år (2019). Med fed skrift er angivet, hvor der er statistisk sikker forskel mellem behandlingerne. Data fra 2002 og 2009 er fra Hansen et al., 2015 og data fra 2019 er fra Gómez-Muñoz et al. 20xx.

	0-25 cm			25-50 cm			0-50 cm			Ændring i 0-50 cm	
	2002	2009	2019	2002	2009	2019	2002	2009	2019	2002-2009	2002-2019
Foulum											
Uden halm	1,8	1,8	1,7	1,2	1,0	1,1	1,5	1,4	1,3	-0,11	-0,21
Med halm	2,0	2,0	2,1	1,3	1,3	1,4	1,7	1,6	1,7	-0,04	0,05
Pløjet	1,9	1,9	1,9	1,3	1,2	1,1	1,6	1,6	1,5	-0,06	-0,09
Direkte	1,9	1,9	1,9	1,2	1,1	1,1	1,6	1,5	1,6	-0,09	0,00
Flakkebjerg											
Uden halm	1,2	1,3	1,4	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	0,04	0,08
Med halm	1,2	1,2	1,4	0,8	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0	0,00	0,01
Pløjet	1,2	1,2	1,3	0,7	0,7	0,6	1,0	1,0	1,0	0,01	0,02
Direkte	1,2	1,3	1,5	0,8	0,8	0,6	1,0	1,0	1,1	0,03	0,07

Tabel 5.2. Kulstoflagring i 0-50 cm (t C/ha) dybde baseret på jordmasse som for pløjet uden halm i 2019. Data fra 2002 og 2009 er fra Hansen et al., 2015 og data fra 2019 er fra Gómez-Muñoz et al. 20xx.

	2002	2009	2019	Ændring 2002-2009	Ændring 2002-2019	Årlig ændring 2002-2019
Foulum						
Uden halm	106,1	98,3	91,7	-7,8	-14,4	-0,9
Med halm	118,6	116,1	121,8	-2,5	3,2	0,2
Pløjet	114,0	110,2	107,5	-3,9	-6,5	-0,4
Direkte	110,7	104,3	110,3	-6,3	-0,4	0,0
Flakkebjerg						
Uden halm	73,6	76,9	79,6	3,3	5,9	0,3
Med halm	76,7	76,5	77,3	-0,2	0,6	0,0
Pløjet	73,6	74,3	75,0	0,6	1,3	0,1
Direkte	76,7	79,2	81,9	2,5	5,2	0,3

5.2 CA effekt på lattergasemissionen

Lattergas bidrager med ca. 45% af den total klimabelastning fra dansk landbrug (Nielsen et al., 2019). Det meste af lattergassen tabes i marken i forbindelse gødskning og omsætning af husdyrgødning og planterester. Ved omsætningen af organisk stof i husdyrgødning og planterester kan der dannes lattergas i forbindelse med både nitrifikation og denitrifikation af kvælstof. Sidstnævnte kræver iltfattige forhold for at være af betydning. Det antages, at 1% af kvælstoffet i tilført organisk stof udledes som lattergas ifølge IPCC (Eggleston et al. 2006), men det konkrete tab vil afhænge af sammensætning af organisk stof, jordtype, klima og jordbearbejdning. Tilførsel af organisk stof under våde forhold, hvor jordens indhold af luftfyldte porer er lav, vil alt andet lige give større risiko for udledning af lattergas.

Et internationalt metastudie af (Mei et al. 2018) viser, at minimal jordbearbejdning generelt set øger tabet af lattergas fra dyrket jord. Dog aftager effekten med faldende kulstof og lerindhold og er lavere for koldt end for varmt klima. Der ses særligt et øget tab på dårligt drænede, og dermed iltfattige, lerede jorde (Rochette 2008). For veldrænede jorde er det almindeligvis iltforbruget ved omsætning af organisk stof, som er af betydning for udledningen af lattergas (Duan et al. 2018). Det betyder, at mængden og fordelingen af det tilførte organiske stof spiller en stor rolle for udledningen. Danske jorde er set i internationalt perspektiv sandede, veldrænede og har et lavt til moderate kulstofindhold, hvorfor man ikke vil forvente en betydelig større udledning af lattergas for pløjefri dyrkning sammenlignet med pløjet. Effekten af jordbearbejdningsintensitet er dog kun undersøgt i få studier under danske forhold (Chatskikh et al. 2008; Petersen et al. 2011; Mutegi et al. 2010; Chatskikh og Olesen 2007). De viser, at tabet af lattergas var størst i pløjet og mindskedes med reduceret intensitet af jordbearbejdning (pløjet > reduceret jordbearbejdning > direkte såning). Det gælder særligt, når der var planterester fra efterafgrøder til stede (Mutegi et al. 2010; Petersen et al. 2011). Petersen et al. (2011) fandt f.eks. at tabet af lattergas var 3,9, 3,0 og 2,2 kg N₂O/ha for henholdsvis pløjet, reduceret jordbearbejdning og direkte såning fra september til maj i et sædskifte med en olieræddike-efterafgrøde forud for vårbyg. De fundne forskelle kan relateres til forbrug og tilgængelighed af ilt i forhold til omsætning af planterester. Ved direkte såning ligger planteresterne på overfladen med stor tilgængelighed af ilt. Ved pløjning nedmuldes planteresterne i et koncentreret bånd i bunden af plovfuren, hvilket alt andet lige mindsker tilgængeligheden af ilt til omsætning. Der er stærkt behov for nye studier til at afdække betydningen af tidspunkt for indarbejdning/nedvisning og jordbearbejdningens betingede rumlige fordeling af afgrøderesterne for tabet af lattergas.

Ved CA er der et stærkere fokus på at øge tilførslen af planterester til jorden i form af halm og efterafgrøder end på bedrifter, der ikke dyrker efter CA-principperne. Det vil alt andet lige øge tabet af lattergas fra jorden jf. antagelsen om at 1% af det tilførte kvælstof tabes som lattergas. Mei et al. (2018) viste, at tilførsel af planterester øgede tabet af lattergas ved pløjefri dyrkning. Mutegi et al. (2010) viste en vekselvirkning mellem jordbearbejdning og efterafgrøde idet pløjefri dyrkning kun reducerede tabet, hvor der var planterester fra en efterafgrøde under omsætning.

Mei et al. (2018) fandt i deres meta-analyse et større udledning af lattergas for ensidigt sædskifte (typisk korn eller majs i monokultur) sammenlignet med mere varieret sædskifte for pløjefri dyrket jord. De angiver ikke en mulig forklaring på dette. Effekten af sædskifte må forventes at være afhængig af afgrøder, jordtype og klima. Sædskifter og dyrkningsforhold, som giver gode betingelser for lattergasdannelse (f.eks. omsætning af planterester med lettilgængeligt kulstof og kvælstof under fugtige forhold), bør undgås, hvis risikoen for lattergasudledning skal mindskes.

5.3 Udlledning af CO₂ fra brændstofforbrug

Pløjefri dyrkning begrænser energiforbruget til jordbearbejdning. En tidligere dansk undersøgelse skønnede reduktionen i det fossile energiforbrug til jordbearbejdning til 22-60% og for direkte såning til 70% (Olesen et al., 2005). Sørensen et al. (2014) estimerede den gennemsnitlige reduktion i dieselforbrug for reduceret jordbearbejdning til 21% og for direkte såning til 43% under danske forhold. Dieselforbruget til markarbejde udgør cirka 70% af det totale direkte fossile energiforbrug i planteproduktionen. Reduktionen i brændstofforbrug svarer til en reduktion på 31-91 kg CO₂ ækv/ha/år for reduceret jordbearbejdning og til 100 kg CO₂ ækv/ha/år for direkte såning (Olesen et al. 2018). Reduktionen i energiforbrug forventes at være mindre for økologiske end for konventionelle CA dyrkere, da økologerne vil have behov for ekstra energi til mekanisk eller termisk ukrudtsbekæmpelse.

5.4 Referencer

- Chatskikh D., Olesen J.E. (2007) Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil and Tillage Research* 97 (1):5-18
- Chatskikh D., Olesen Jr.E., Hansen E.M., Elsgaard L., Petersen Br.M. (2008) Effects of reduced tillage on net greenhouse gas fluxes from loamy sand soil under winter crops in Denmark. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128 (1-2):117-126
- Chenu C., Angers D.A., Barré P., Derrien D., Arrouays D., Balesdent J. (2019) Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations. *Soil and Tillage Research* 188:41-52. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.04.011>
- Duan Y-F, Hallin S., Jones C.M., Priemé A., Labouriau R., Petersen S.O. (2018) Catch Crop Residues Stimulate N₂O Emissions During Spring, Without Affecting the Genetic Potential for Nitrite and N₂O Reduction. *Frontiers in microbiology* 9:2629-2629. doi:10.3389/fmicb.2018.02629
- Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. ; IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, c/o Institute for Global Environmental Strategies IGES, 2108 - 11, Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa (Japan),
- Gómez-Muñoz, B. Jensen L.S., Munkholm L.J., Olesen J.E., Hansen E.M., Bruun, S. (20xx). Long-term effect of tillage and straw incorporation in conservation agriculture systems on soil carbon storage. *Soil Science Society of America Journal* (afsendt).
- Hansen E.M., Munkholm L.J., Olesen J.E., Melander B. (2015) Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. *Journal of Environmental Quality* 44 (3):868-881. doi:10.2134/jeq2014.11.0482

- Hassink J. (1997) The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil* 191 (1):77-87
- Mei K., Wang Z., Huang H., Zhang C., Shang X., Dahlgren R.A., Zhang M., Xia F. (2018) Stimulation of N₂O emission by conservation tillage management in agricultural lands: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research* 182:86-93. doi:<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.006>
- Meurer K.H.E., Haddaway N.R., Bolinder M.A., Kätterer T. (2018) Tillage intensity affects total SOC stocks in boreo-temperate regions only in the topsoil—A systematic review using an ESM approach. *Earth-Science Reviews* 177:613-622. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.12.015>
- Mutegi J.K., Munkholm L.J., Petersen B.M., Hansen E.M., Petersen S.O. (2010) Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. *Soil Biology & Biochemistry* 42 (10):1701-1711
- Nielsen J.A., Jensen J.L. (2014) Miljøeffekter ved reduceret jordbearbejdning. *Planteavl* 213, revideret 09-05-2014.
- Nielsen O-K., Plejdrup M.S., Winther M., Nielsen M., Gyldenkerne S., Mikkelsen M.H., Albrechtsen R., Thomsen M., Hjelgaard K.H., Fauser P., Bruun H.G., Johannsen V.K., Nord-Larsen T., Vesterdal L., Callesen I., Caspersen O.H., Bentsen N.S., Rasmussen E., Petersen S.B., Olsen T.M., Hansen M.G. (2019) Denmark's National Inventory Report 2019: Emission Inventories 1990-2017 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.
- Ogle S., Wakelin S., Buendia L., McConkey B.G., Baldock J., Akiyama H., Kishimoto-Mo A., Chirinda N., Bernoux M., Bhattacharya S., Chursuwan N., Goheer M., Hergoualc'h K., Ishizuka S., Lasco R., Pan X., Pathak H., Regina K., Sato A., Yan X. (2019) Cropland – Chapter 5. In: Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In. pp 5.1-5.102
- Olesen J.E., Petersen S.O., Lund P., Jørgensen U., Kristensen T., Elsgaard L., Sørensen P., Lassen P. (2018) Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Aarhus Universitet, DCA Rapport nr. 130. Aarhus Universitet, 115s
- Petersen S.O., Mutegi J.K., Hansen E.M., Munkholm L.J. (2011) Tillage effects on N₂O emissions as influenced by a winter cover crop. *Soil Biology & Biochemistry* 43 (7):1509-1517
- Poepplau C., Don A. (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200:33-41. doi:[10.1016/j.agee.2014.10.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024)

- Powlson D.S., Stirling C.M., Jat M.L., Gerard B.G., Palm CA, Sanchez PA, Cassman KG (2014) Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4 (8):678-683. doi:10.1038/nclimate2292
- Rasmussen K.J. (1999) Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53:3-14
- Reicosky D.C., Archer D.W. (2007) Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research* 94 (1):109-121. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.004
- Rochette P. (2008) No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. *Soil and Tillage Research* 101 (1-2):97-100
- Schjønning P. (2004) Langtidseffekter af halmnedmuldning. *Grøn Viden Markbrug* nr. 295:1-8
- Schjønning P., Thomsen I.K. (2013) Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. *Soil and Tillage Research* 132 (0):12-20
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M., Smith J. (2008) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363 (1492):789-813. doi:10.1098/rstb.2007.2184
- Sun W., Canadell J.G., Yu L., Yu L., Zhang W., Smith P., Fischer T., Huang Y. (2020) Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology* n/a (n/a). doi:10.1111/gcb.15001
- Sørensen C.G., Halberg N., Oudshoorn F.W., Petersen B.M., Dalgaard R. (2014) Energy inputs and GHG emissions of tillage systems. *Biosystems Engineering* 120:2-14
- Thomsen I.K., Christensen B.T. (2004) Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops. *Soil use and Management* 20 (4):432-438
- 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 (0):82-87
- West T.O., Post W.M. (2002) Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66 (6):1930-1946

6 Miljøeffekter af dyrkningsformerne under CA – tab af næringsstoffer

Elly Møller Hansen, Goswin J. Heckrath og Lars J. Munkholm, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

6.1 Effekt på udvaskning af kvælstof

6.1.1 Reduceret jordbearbejdning isoleret set

Det har over en årrække været velkendt, at forsøg med sammenligning af direkte såning med konventionel jordbearbejdning ofte giver modstridende effekter mht. udvaskning af nitrat. Randall og Iragavarapu (1995) citerer således Gilliam og Hoyt (1987) for at henvise til modstridende resultater og citerer selv resultater, der er i modstrid med hinanden: Kanwar et al. (1985) fandt større udvaskning fra konventionel jordbearbejdning end fra direkte såning, Kanwar et al. (1988) fandt det modsatte resultat, mens Kitur et al. (1984) ikke fandt nogen effekt af jordbearbejdning. Hansen & Djurhuus (1997) citerer ligeledes resultater med modstridende effekter af jordbearbejdning, hvor Harris og Colbourne (1986) samt Goss et al. (1988) fandt større udvaskning fra konventionel jordbearbejdning i forhold til reduceret jordbearbejdning, mens Tyler og Thomas (1977) samt Goss et al. (1990) fandt det modsatte, hvorimod Groffman et al. (1987) og Angle (1990) ikke fandt nogen signifikant forskel. Som et sidste eksempel kan nævnes Couto-Vázquez & González-Prieto (2016), som citerer Jordan et al. (2000) for at finde større udvaskning under konventionel jordbearbejdning, Dowdell et al. (1987) og Eck og Jones (1992) for at finde det modsatte og endelig Lamb et al. (1985) og Sharpley et al. (1991) for ikke at finde nogen forskel.

Mulige årsager til modstridende effekter

Reduceret jordbearbejdning praktiseres i større eller mindre grad over det meste af verden, og modstridende effekter på nitratudvaskning kan skyldes, at forsøgene er udført under vidt forskellige betingelser. Effekten er afhængig af jordtype og -struktur, klimaforhold og måden hvorpå metoderne praktiseres (Farahani et al., 2020), afgrøde (Daryanto et al., 2017) mm. Forskellig praktisering af metoderne kan f.eks. være relateret til jordbearbejdningsdybde og intensitet samt tidspunkt for jordbearbejdning i forhold til, hvornår jorden er 'tjenlig' til den pågældende jordbearbejdning eller direkte såning. På grund af de forskellige processer og vekselvirkninger, der kan have indflydelse på effekt af jordbearbejdning på udvaskning af nitrat, er det ikke overraskende, at det er vanskeligt at bestemme en universel effekt (Daryanto et al., 2017).

Afgrødens etablering og efterfølgende kvælstofoptagelse har betydning for størrelsen af den efterfølgende udvaskning. Af kapitel 2.3 om "Udbytter" fremgår, at afgrødetype, arealernes forhistorie mht. input af organisk stof og formentlig varighed af den pågældende praksis spiller en rolle for hvor godt afgrødeetableringen lykkes ved forskellige former for jordbearbejdning eller direkte såning. Hvor stor succes, der opnås med afgrødeetablering, har ikke blot betydning for størrelsen af det udbytte, der efterfølgende kan høstes, men også for afgrødens kvælstofudnyttelse og dermed efterfølgende risiko for

udvaskning. Hvis for eksempel dårlig jordstruktur ved den ene type jordbearbejdning medfører ringere afgrødevækst end ved den anden, vil det betyde, at mindre kvælstof optages i afgrøden end under mere optimale betingelser (Munkholm, et al. 2008). Større angreb af sygdomme og skadedyr samt store ukrudtstryk kan ligeledes føre til ringere udnyttelse af tilført og mineraliseret kvælstof. Det øger risikoen for udvaskning.

Modstridende resultater mht. udvaskning ved forskellige former for jordbearbejdning kan desuden skyldes, at der i forskellig grad er tabt kvælstof fra systemerne på anden måde end ved udvaskning. For eksempel kan der være denitrificeret mere kvælstof ved den ene jordbearbejdning end ved den anden, som resultater fra Constantin et al. (2010) indikerer for direkte såning i forhold til konventionel jordbearbejdning. Desuden kan der være forskel på, hvor meget gødningskvælstof der immobiliseres i planterester ved forskellig jordbearbejdning. Kitur et al. (1984) og Groffman et al. (1987) fandt således øget kvælstofimmobilisering i planterester på jordoverfladen ved direkte såning som den mest sandsynlige forklaring på reduceret udnyttelse af kvælstof ved lave kvælstofniveauer. I sammenligning af systemer som tilføres gylle eller anden husdyrgødning kan det desuden ikke udelukkes, at ammoniakfordampning kan være forskellig (se kapitel 2).

En mulig årsag til, at der er fundet øget udvaskning ved reduceret jordbearbejdning i visse forsøg (f.eks. Tyler og Thomas, 1977; Goss et al., 1990; Tan et al. 2002) menes at være forskelle i tilstedeværelse af makroporer. Ved høj nedbørsintensitet (Quisenberry og Phillips, 1976) i forbindelse med tilførsel af gødning, kan gødning vaskes gennem makroporer i direkte såede parceller og medføre større tab fra disse end fra pløjet jord, hvor eventuelle makroporer i pløjelaget ødelægges, når der pløjes. Udenlandske jorde adskiller sig ofte meget fra danske jorde mht. indhold af ler og makroporer (se kapitel 2 og 7), og en eventuel effekt af makroporestrømning kan derfor ikke umiddelbart overføres til danske forhold. Da gødskning i Danmark desuden sjældent foretages om efteråret, hvor der er størst risiko for afstrømning, vurderes makroporestrømning at være af ringe betydning for udvaskningen af nitrat under danske forhold, men muligvis for udvaskning af visse pesticider (Petersen et al. 2016) (se kapitel 7).

Praksisnære forsøg

Traditionelle jordbearbejdningsforsøg med de maskiner og kørselshastigheder, som anvendes i praksis, kræver store forsøgsarealer (Derpsch et al., 2014), og det er f.eks. ikke muligt at køre "på tværs", som det ofte kan være en fordel at gøre i praksis (Lyngvig, 2017; Nielsen et al., 2001). Cooper et al. (2017) angiver som årsag til deres valg af et alternativt forsøgsdesign, at traditionelle forsøg ikke kan vise, hvor effektive forskellige behandlinger vil være i praksis på store kommerciel landbrug. Hvis man i traditionelle forsøg derudover vil kunne afsløre signifikante langtidseffekter af forskellige typer jordbearbejdning, har man behov for langvarige forsøg, som er både tidskrævende og omkostningstunge. Et alternativ hertil kan være at undersøge f.eks. to forskellige jordbearbejdningsmetoder på marker, hvor de pågældende metoder har været praktiseret over længere tid. Dertil kan man have behov for et stort antal "markpar" med hver af de

to typer jordbearbejdning. Men det kan være en udfordring at finde tilstrækkeligt mange markpar, således at der kan afsløres signifikante forskelle. Som et eksempel kan nævnes Nielsen (2014), der til en begyndelse havde udvalgt 34 markpar, men 17 markpar levede ikke op til de stillede krav, hvorfor der i undersøgelsen blot indgik de resterende 17 markpar, som dog kan synes at være et betydeligt antal.

Muligvis i erkendelse af at det er ressourcekrævende at udføre den ovenfor beskrevne type forsøg, rapporteres der et stigende antal forsøg, der blot inkluderer et enkelt område eller en enkelt mark med hver af f.eks. to jordbearbejdningsmetoder, der ønskes undersøgt (f.eks. Tan. et al., 2002; Couto-Vázquez og González-Prieto, 2016; Cooper et al., 2017). I Tan et al., 2002 sammenlignes to 2-ha marker, der enten havde været pløjet i fire år eller direkte sået i seks år før sammenligningen blev påbegyndt. De var beliggende med 0,5 km afstand. Selvom den afstrømningsvægtede gennemsnitlige nitratkoncentration i drænvandet var 13% lavere ved direkte såning end ved pløjning gennem en 5-årig periode, havde direkte såning et større totalt kvælstoftab end pløjning. I Cooper et al. (2017) blev et 143 ha stort opland i UK opdelt i fire blokke som først blev fulgt over et år og derefter fik hver sin forsøgsbehandling. Resultaterne viste, at direkte såning og reduceret jordbearbejdning ikke gav en sikker effekt på udvaskningen i forhold til konventionel pløjning. I artiklen er der ingen oplysninger om eventuel statistisk analyse af data. I Couto-Vázquez og González-Prieto (2016) blev benyttet to marker med samme sædskifte men med forskellig jordbearbejdning gennem en årerække. Forfatterne konkluderede, at resultaterne tydede på, at jordbearbejdning havde ringe eller ingen effekt på den uorganiske N-pulje i jorden.

Ovennævnte forsøg (Tan. et al., 2002; Couto-Vázquez og González-Prieto, 2016; Cooper et al., 2017) medtages i nærværende rapport selvom der kan være tvivl om, hvorvidt en eventuel statistiske analyse i forsøgene er valid. Webster og Lark (2018) advarer om at bruge pseudo-gentagelser, som det kan være tilfældet, hvis man f.eks. tager mange jordprøver fra et eksperiment, der har få eller måske slet ingen gentagelser, og tror, at det kan kompensere for manglende gentagelser i en statistisk analyse.

6.1.2 Permanente jorddække med planterester eller levende planter

Hovedparten af dyrkningselementerne i CA, dvs. varieret sædskifte, dyrkning af efterafgrøder og efterladelse af halm, er som pointeret af Knowler og Bradshaw (2007) velkendte dyrkningselementer, som allerede anvendes i vid udstrækning i pløjede dyrkningssystemer.

Efterafgrøde

Under CA anbefales udbredt brug af efterafgrøder, som udgør et levende plantedække om efteråret og som derefter overgår til at være planterester efter udvintring eller herbicidbehandling. I dansk lovgivning er efterafgrøder et væsentligt virkemiddel til reduktion af udvaskning fra landbrugsarealer uanset hvilken jordbearbejdningssystem, der praktiseres. Den udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder, der bl.a. kan benyttes som pligtige efterafgrøder (Landbrugsstyrelsen, 2019) er beskrevet af Hansen et al. (2020).

Halm som virkemiddel til reduktion af udvaskning er beskrevet af Thomsen et al. (2020), men er vurderet ikke-egnet som kvælstofvirkemiddel. Det skyldes, at halmens potentiale til kvælstofimmobilisering, som er fundet under kontrollerede betingelser, ikke kommer til udtryk ved udvaskningsmålinger (se afsnit nedenfor).

At det udvaskningsmæssigt er formålstjenligt at dyrke efterafgrøder i forbindelse med pløjefri dyrkning fremgår bl.a. af Cooper et al. (2017), som på baggrund af et forsøg i stor skala konkluderede, at reduceret jordbearbejdning i sig selv ikke var effektiv til at reducere udvaskningen i sammenligning med pløjning. Men ved at benytte olieræddike som efterafgrøde blev udvaskningen reduceret 75-97% i forhold til arealer uden olieræddike. Ligeledes foreslog Daryanto et al. (2017) på baggrund af en metaanalyse, at man for at reducere udvaskningen bør kombinere direkte såning med andre dyrkningsmæssige foranstaltninger som f.eks. efterafgrøder.

I et igangværende projekt "Grønne marker og stærke rødder" undersøges effekter af forskellige typer jordbearbejdning (pløjning, harvning og CA) i tre nabomarker på Sjælland, hvor forskellig jordbearbejdning har været praktiseret gennem en årrække (pløjet "altid"; harvet ca. 7 år; CA i 7 år, men pløjefri i 18 år) (Thorup-Kristensen, 2019). Ifølge Thorup-Kristensen (2019) tyder de foreløbige resultater mht. til kvælstofudvaskning på, at den vigtigste faktor vil være omfanget af dyrkning af efterafgrøder.

Udvaskning i CENTS-forsøget

Conservation Agriculture indgår i CENTS-forsøgene ved Foulum (JB 4) og Flakkebjerg (JB 6), som tidligere omtalt. Resultater fra 2003 til 2011 er beskrevet af Hansen et al. (2015). I Munkholm et al. (2020) er vist gennemsnitlig udvaskning for pløjet, reduceret jordbearbejdning (harvet 8-10 cm) og direkte såning for to perioder: 2003-2011 og 2012-2018 som gennemsnit af sædskifterne i forsøget på hver af de to lokaliteter. Resultaterne viser, at der ikke i hverken første eller anden periode har været signifikant forskel på udvaskningen ved de forskellige jordbearbejdninger, og forskellene i udvaskningen ved pløjet og direkte såning har i gennemsnit maksimalt været 3 kg N/ha/år.

Af de fem sædskifter i CENTS opfylder sædskiftet R4 i høj grad CA-principperne om et varieret sædskifte, dyrkning af efterafgrøder og efterladelse af halm, selvom andelen af vinterkorn er højere end de specifikke anbefalinger for CA under danske forhold (kapitel 2). Sædskiftet R3 er identisk med R4 med undtagelse af, at halmen i R3 fjernes. Resultaterne fra R4 viser, at der ikke i hverken første eller anden periode har været signifikant forskel på udvaskningen ved de forskellige jordbearbejdninger på de to lokaliteter (Tabel 6.1). Derimod var der for R3 i anden periode signifikant større udvaskning fra pløjet end fra direkte såning på Foulum.

For det vintersædsbaserede sædskifte R2 er effekten af jordbearbejdning modsatrettet i forhold til R3/R4. I R2 er der således ved Foulum i første periode signifikant større udvaskning ved direkte såning end ved

pløjning (Tabel 6.1). Det skyldes formentlig signifikant lavere udbytter ved direkte såning end ved de øvrige jordbearbejdnings (Hansen et al., 2015).

Effekt af halmhåndtering kan ses ved at sammenligne sædskifterne R3 (halm fjernet) og R4 (halm efterladt), hvor der i ingen af perioderne har været signifikant forskel på udvaskningen (Tabel 6.1).

Sædskiftets betydning fremgår ved sammenligning af R3/R4 med R2, som er et vintersædsbaseret sædskifte med blot 12% vårkorn og dermed betydeligt færre efterafgrøder (kapitel 2) end i R3/R4. Udvasningen er signifikant større i R2 ved Foulum i anden periode og signifikant større i begge perioder ved Flakkebjerg end i R3/R4. Forskellen skyldes først og fremmest, at der i R3 og R4 dyrkes flere efterafgrøder, der har vist sig effektive til at reducere udvaskningen (Hansen et al. (2015).

Tabel 6.1. Udvaskning (kg N/ha) i CENTS forsøgene 2003-2011 (Hansen et al., 2015) og 2011-2018 (upubliceret) for sædskifterne R2, R3 og R4. Sædskiftet R2 er et vintersædsbaseret sædskifte med 12% vårkorn, mens R3 og R4 har 38% vårkorn og blot adskiller sig mht. halmhåndtering (fjernet eller efterladt). Desuden er vist det gennemsnitlige udbytte for hvert sædskifte. LSD.95 angiver "Least Significant Difference" på 95 % niveau. Værdier efterfulgt af bogstaverne "a" og "b" er signifikant forskellige fra hinanden inden for hvert sædskifte. Nederst i tabellen angiver forskellige bogstaver, at der er signifikant forskel mellem sædskifterne. Forkortelsen "ns" betyder, at der ikke er signifikant forskel.

Jordbearbejdning	Foulum (JB4)		Flakkebjerg (JB6)	
	2003-11	2011-18	2003-11	2011-18
R2 (vinterafgrøder, halm efterladt)				
Pløjet	43b	100	35	34
Red. Jordb. (harvet 8-10 cm)	45b	87	36	31
Direkte såning	61a	120	39	37
LSD.95	10	ns	ns	ns
R3 (alsidigt, halm fjernet)				
Pløjet	40	65a	26	25
Red. Jordb. (harvet 8-10 cm)	34	52ab	22	17
Direkte såning	34	50b	24	27
LSD.95	ns	14	ns	ns
R4 (alsidigt halm efterladt)				
Pløjet	44	66	26	28
Red. Jordb. (harvet 8-10 cm)	41	57	28	27
Direkte såning	40	62	21	22
LSD.95	ns	ns	ns	ns
R2 gennemsnit¹	47	99a	37a	34a
R3 gennemsnit¹	38	58b	23b	23b
R4 gennemsnit¹	41	61b	23b	25b
LSD.95	ns ²	20	10	8

¹. Inklusive en jordbearbejdning, hvor der er skiftet jordbearbejdningsintensitet i løbet af perioden 2003-2011 (Hansen et al., 2015). ² Signifikant vekselvirkning mellem sædskifte og jordbearbejdning.

6.2 Effekt på fosfortab

Tab af fosfor fra landbrugsjord udgør et væsentlig bidrag til eutrofiering af overfladevand i Danmark (Andersen og Heckrath, 2020). Fosfor bindes som regel hårdt i jord, dog er jordens bindingskapacitet begrænset. På grund af jordbundsdannende processer og især stor overskudstilførsel af fosfor igennem det sidste århundrede aftager fosforindholdet i landbrugsjord typisk eksponentiel med dybden (Rubæk et al., 2013). Således er det fosforberigede pløjelag kilden til fosfortabet. Fosfortab fra landbrugsjord til vandmiljøet foregår overvejende ved overfladisk afstrømning og erosion eller udvaskning fra pløjelaget til dræn eller grøfter. I begge tilfælde transporteres både opløst eller og partikelbundet fosfor (Andersen et al., 2016). Fosfortab ved vinderosion anses derimod for mindre betydningsfuld (Andersen et al., 2016). Idet CA kan mindske risikoen for vinderosion markant (kap. 7.6), bliver emnet ikke yderligere behandlet her.

Udvaskningen af opløst fosfor kontrolleres af balancen mellem fosforbinding og -frigivelse til jordvæsken, når vand strømmer igennem jordprofilen (Barrow, 2008). Overskudstilførsler øger fosformætningsgraden i jord, dvs forholdet mellem bundet fosfor og bindingskapaciteten, hvorved balancen flyttes til fordel for fosforfrigivelse. Et særligt tilfælde er fosformobiliseringen i organisk lavbundsjord, hvor biokemiske reaktioner under iltfattige forhold uafhængigt af fosformætningsgraden kan frigive jernbundet fosfor også i dybere jordlag (Forsman og Kjærgaard, 2014). Findes der et system af sammenhængende makroporer i jordprofilen såsom sprækker, regnormegange eller gamle rodkanaler, der forbinder overjorden med drænrør, kan fosfor også udvaskes i partikelbundet form (de Jonge et al., 2004; Heckrath et al., 1995). Således kan fosforudvaskningen i jordens makroporesystem være stor, da processen fremmer både opløst og kolloidbåren fosfortransport (Glæsner et al., 2011; Andersen et al., 2016). Sandsynligheden for forekomst af makroporetransport varierer som funktion af jordens tekstur, organisk stof og klimavariabel. Idet risikoen for makroporetransport stiger i takt med lerindholdet, er processen mere udbredt på leret morænejord i Østjylland og på øerne (Kotlar et al., 2020). Derudover påvirkes makroporetransport af dyrkningstiltag, især jordbearbejdning og jordpakning (Petersen et al., 2001; Etana et al., 2013; Abdollahi and Munkholm 2017).

Afstrømmer vand på jordens overflade tabes også opløst fosfor, der frigives fra aggregater (Vadas et al., 2005) eller planterester i kontakt med vandet (Bechmann et al., 2005). Imidlertid falder den relative betydning af tab af opløst fosfor typisk eksponentielt med stigende erosionsrater (Sharpley et al., 1993). Ved større jordtab – som følge af rilleerosion – er tabet af opløst fosfor til vandmiljøet generelt af underordnet betydning sammenlignet med tabet af partikelbundet fosfor... Betydningen af overfladeafstrømning for tab af opløst fosfor til vandmiljøet er ikke kendt under danske forhold. Det skønnes dog, at tabet af partikelbundet fosfor ved vinderosion er af klart større betydning (Andersen og Heckrath, 2020). Derfor gælder principielt, at tiltag, der reducerer erosion og overfladeafstrømning på marker også reducerer fosfortabet. Conservation Agriculture øger typisk vandinfiltration i jord og fremmer aggregatstabilitet, hvorved jordens modstandskraft mod erosion stiger. Men det vil især være det permanente jorddække, som

kraftigt reducerer erosionsrisikoen ved at beskytte jordoverfladen mod nedbørens erosionsvirkning, forsinke afstrømningen og reducere dens hastighed (Verhulst et al., 2010; kap. 7.6).

Effekten af minimal jordbearbejdning eller CA på fosfortab er ikke undersøgt under danske forhold, hvorfor det ses bort fra kvantificeringer i det følgende. En tidligere redegørelse konkluderede, at pløjefri dyrkning kan have modstridende konsekvenser for fosfortabet (Olesen et al., 2002). De fleste studier rapporterer kraftigt reduceret tab af partikelbundet fosfor ved overfladisk transport i forbindelse med minimal jordbearbejdning, hvorimod tab af opløst fosfor kan øges (Soane et al., 2012). Ligeledes observeres i nogle tilfælde større fosforudvaskning ved makroporetransport i forhold til pløjning (Gramlich et al, 2018).

En række ældre undersøgelser fra Nordamerika har vist, at direkte såning kan mindske fosfortabet ved overfladeafstrømning og erosion markant i forhold til konventionel jordbearbejdning (Andraski et al., 1985; Mostaghimi et al., 1988; Deizman et al., 1989). Det var oftest forbunden med en tydelig reduktion i koncentrationen af totalfosfor i afstrømningen. Forsøgsbetingelserne har været meget forskellige angående nedbørsforhold (kunstig eller naturlig), størrelsen af forsøgsarealet, jordbearbejdningen, afgrøden, håndtering af afgrøderester og længden af undersøgelsesperioden. Ikke desto mindre blev tabet af totalfosfor reduceret med typisk mere end 80% ved direkte såning, selvom det årlige tabsniveau kunne udgøre flere kilogram fosfor per hektar ved intensiv jordbearbejdning (McDowell og McGregor, 1984; Sharpley og Smith, 1994). I flertallet af disse undersøgelser foregik fosfortabet overvejende i partikelbundet form ved intensiv jordbearbejdning og beskedent jorddække. Reduktionen i fosfortabet kunne således forklares igennem den erosionsbegrænsende virkning af direkte såning. Kraftige tabsreduktioner ved direkte såning rapporteres også fra Østrig (Rosner og Klik, 2001), Norge, Sverige og Finland (Ulén et al, 2010).

Imidlertid medførte direkte såning øget tab af opløst fosfor i forhold til intensiv jordbearbejdning i nogle af de amerikanske studier (McDowell og McGregor, 1984; Sharpley og Smith, 1994), hvor koncentrationen af opløst fosfor steg i takt med stigende mængder af planterester på jordoverfladen. Dette blev forklaret med udvaskningen af fosfor fra nedbrudte planterester (McDowell og McGregor, 1984; Sharpley og Smith, 1994). Ulén et al (2010) rapporterer lignende resultater fra skandinaviske studier og henviser til frigivelsen af opløst fosfor efter nedsprøjtning af ukrudt. Også frost-tø cykler nedbryder urteagtig vegetation, hvilket kan bidrage til fosforfrigivelsen til overfladeafstrømning (Kieta et al, 2018). Selvom der i Danmarks tiltagende mildere klima typisk er kun få frostdage, indikerer nordiske laboratorieforsøg et tabsbidrag fra udvintring af efterafgrøder (Bechmann et al, 2005; Øgaard, 2015), som kan være relevant i forbindelse med CA. Derudover kan øget tab af opløst fosfor ved overfladeafstrømning skyldes en berigelse af lettilgængeligt fosfor i det øverste jordlag ved pløjefri dyrkning og CA, når gødningen ikke indarbejdes dybere i jorden (Puustinen et al. 2005; Franzluebbers, 2008).

Selvom direkte såning med god jorddække reducerer den totale tabsmængde af fosfor ved overfladisk transport og dermed truslen for vandmiljøet, kan øget tab af opløst fosfor fra mark til vandområder modvirke

en forbedring af vandmiljøets tilstand, da opløst fosfor umiddelbart er bio-tilgængeligt for alger til forskel til partikelbundet fosfor (Heathwaite et al., 2000).

De fleste nordamerikanske og skandinaviske studier er gennemført på siltrige eller tungere lerjorde og under klimaforhold, der udgør en større risiko for overfladeafstrømning og erosion sammenholdt med Danmark. For fosfortab ved overfladisk transport forventes den relative reduktionseffekt af CA at være på samme niveau for Danmark som for de udenlandske undersøgelser.

Der findes kun få studier og ingen danske, der har undersøgt betydningen af pløjefri dyrkning og især direkte såning for fosforudvaskning til dræn. Christianson et al (2016) har gennemført en meta-analyse af publicerede data over fosfortab i drænvand, der blev genereret i flerårige markforsøg med adskillige dyrkningssystemer i en række stater i det østlige USA og Canada. De fandt, at tabet af opløst fosfor var på 0,12 kg P/ha for direkte såning som gennemsnit af 21 studier, hvilket var tre gange større end tabet ved konventionel dyrkning i 52 studier (Christianson et al 2016). Tabet af totalfosfor viste tilsvarende tendens (0,36 og 1,18 kg P ha⁻¹ i gennemsnit for henholdsvis konventionel jordbearbejdning og direkte såning). Der indgik dog kun et fåtal af studier med direkte såning og behandlingsforskellen var ikke sikker. Analysen forholdt sig ikke til forholdet mellem opløst og partikelbundet fosfor i de enkelte studier.

Et eksempel fra Ontario belyser fosforudvaskning ved forskellig jordbearbejdning mere detaljeret. Den flerårige undersøgelse på en tung lerjord med majsdyrkning opgjorde fosfortabet i drænvand for konventionel jordbearbejdning og direkte såning (Gaynor og Findlay, 1995). Der var ikke forskelle i overjordens indhold af plantetilgængeligt fosfor. Ved direkte såning blev dobbelt så meget totalfosfor (ca. 2 kg P ha⁻¹ år⁻¹) tabt som for konventionel jordbearbejdning. For opløst fosfor var tabet 2,3 gange større for direkte såning end for konventionel jordbearbejdning. Der blev udvasket mere opløst ved direkte såning end partikelbundet fosfor, mens det for konventionel jordbearbejdning var omvendt. Drænastrømningen var i gennemsnittet 15% mindre og tabet af suspenderet sediment i drænastrømningen 56% mindre for direkte såning i forhold til konventionel jordbearbejdning. Sidstnævnte er i tråd med forventningen om et større potentiale for partikelmobilisering på grund af nedbrydelse af jordaggregater ved intensiv jordbearbejdning (Le Bissonais, 1996). Gaynor og Findlay (1995) konkluderede, at det tætte jorddække af planterester ved direkte såning reducerede partikelmobilisering i det øverste jordlag effektivt. Samtidig udgjorde planteresterne en kilde for udvaskning af opløst fosfor, som blev transporteret til dræn i jordens veludviklede makroporesystem ved præferentiel strømning, som forhindrede fosforbinding i underjorden (Gaynor og Findlay, 1995). Øget udvaskning af opløst fosfor ved direkte såning i forholdt til konventionel jordbearbejdning er også beskrevet af Djodjic et al (2002). I dette studie blev fosforgødning overfladeudbragt på en tung lerjord, der udviste udpræget makroporetransport.

Flere rapporter slår fast, at direkte såning og CA fremmer udviklingen af sammenhængende lodretgående makroporer på lerede jorde på grund af øget biologisk aktivitet og den manglende forstyrrelse ved jordbearbejdning (Shipitalo et al, 2000; Verhulst et al, 2010). Således skabes velvarende, hurtige

transportveje mellem det øverste jordlag og dræn. Da direkte såning ofte medfører øget pakning og mindre porøsitet i det øverste jordlag stiger også sandsynligheden for igangsætning af makroporestrømning nær jordoverfladen). Samtidig øger direkte såning eller CA fosforophobning i de øverste få centimeter af jorden grundet i gødningstilførslen på overfladen eller i det øverste jordlag (Hussain et al, 1999; Essington og Howard, 2000; Franzluebbers, 2008). Kombinationen af disse forhold forbinder fosforkilden med en effektiv transportproces og forklarer i mange tilfælde øget fosforudvaskning ved direkte såning (Ulén et al., 2010).

Ud fra de publicerede studier kan det ikke umiddelbart konkluderes, hvilken nettoeffekt en udbredt implementering af CA vil have for fosfortabet under danske forhold. Det estimeres, at fosfortab ved makroporetransport til dræn er omtrent tre gange større end overfladisk tab til vandområder i Danmark (Andersen og Heckrath, 2020). Der er således en risiko for at et CA forårsaget mindsket tab ved overfladisk transport opvejes af øget tab ved udvaskning til dræne. Det vil dog være afhængig af, hvor og hvordan CA praktiseres, men der mangler undersøgelser, som belyser dette.

6.3 Referencer

- Abdollahi L., Munkholm L.J. (2017) Eleven Years' Effect of Conservation Practices for Temperate Sandy Loams: II. Soil Pore Characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 81 (2):392-403. doi:10.2136/sssaj2016.07.0221
- Andersen H.E., Baatrup-Pedersen A., Blicher-Mathiesen G., Christensen J.P., Heckrath G., Nordemann Jensen P. (red.), Vinther F.P., Rolighed J., Rubæk G. & Søndergaard M. (2016) Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE -Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 77 <http://dce2.au.dk/pub/TR77.pdf>
- Andersen H.E., Heckrath G.H. (red.) (2020) Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. DCE rapport. Under udfærdigelse.
- Andraski B.J., Mueller D.H. Daniel T.C. (1985) Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1523-1527.
- Angle, J.S., (1990). Nitrate leaching losses from soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 31: 91-97.
- Barrow N.J. (2008) The description of sorption curves. *European Journal of Soil Science*, 59(5):900-910. doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01041.x.
- Bechmann M., Kleinman P.J.A., Sharpley A.N., Saporito, L.S. (2005) Freeze-thaw effects on phosphorus loss in runoff from manured and catch-cropped soils. *J. Environ. Qual.* 34:2301-2309.

- Christianson L.E., Harmel R.D., Smith D., Williams M.R., King K. (2016) Assessment and synthesis of 50 years of published drainage phosphorus losses. *J. Environ. Qual.* 45:1467–1477.
- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P., Beaudoin, N., (2010). Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 268–278.
- Cooper, R.J., Hama-Aziz, Z., Hiscock, K.M., Lovett, A.A., Dugdale, S.J., Sünnenberg, G., Noble, L., Beamish, J., Hovesen, P., (2017). Assessing the farm-scale impacts of cover crops and non-inversion tillage regimes on nutrient losses from an arable catchment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 237, 181–193.
- Couto-Vázquez, A., González-Prieto, S.J., (2016). Fate of 15N-fertilizers in the soil-plant system of a forage rotation under conservation and plough tillage. *Soil & Tillage Research* 161, 10-18.
- Daryanto, S., Wang, L., Jacinthe, P.-A., (2017). Impacts of no-tillage management on nitrate loss from corn, soybean and wheat cultivation: A meta-analysis. *Scientific reports* 7:12117.
- de Jonge L.W., Moldrup P., Rubaek G.H. Schelde K., Djurhuus J. (2004) Particle leaching and particle-facilitated transport of phosphorus at field scale. *Vadose Zone Journal* 3:462-470.
- Derpsch, R., Franzluebbers, A.J., Duiker, S.W., Reicosky, D.C., Koeller, K., Friedrich, T., Sturny, W.G., Sá, J.C.M., Weiss, K., (2014). Letter to the Editor. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil Till. Res.* 137, 16–22.
- Deizman, M.M., Mostaghimi S., Dillaha T.A., Heatwole C.D. (1989) Tillage effects on phosphorus losses from sludge-amended soils. *J. Soil Wat. Cons.* 44(3): 247-251.
- Djodjic F., Bergström L., Ulén B. (2002) Phosphorus losses from a structured clay soil in relation to tillage practices. *Soil Use Manage.* 18:79–83.
- Dowdell, R.J., Colbourn, P., Cannell, R.Q., (1987). A study of mole drainage with simplified cultivation for autumn-sown crops on a clay soil. 5. Losses of nitrate-N in surface run-off and drain water. *Soil Tillage Res.* 9, 317–331.
- Eck, H.V., Jones, O.R., (1992). Soil-nitrogen status as affected by tillage crops, and crop sequences. *Agron. J.* 84, 660–668.
- Essington M.E., Howard D.D. (2000) Phosphorus availability and speciation in long-term no-till and disk-till soil. *Soil Sci.* 165(2):144-152.
- Etana A., Larsbo M., Keller T., Arvidsson J., Schjønning P., Forkman J., Jarvis N. (2013) Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. *Geoderma* 192:430–436.

- Farahani, S.S., Asoodar, M.A. Moghadam, B.K., (2020). Short-term impacts of biochar, tillage practices, and irrigations systems on nitrate and phosphorus concentrations in subsurface drainage water. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:761–771.
- Franzluebbers A.J. (2008) Linking soil and water quality in conservation agricultural systems. *Electronic Journal of Integrative Biosciences* 6(1):15-29.
- Gaynor J.D., Findlay W.I. (1995) Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *J. Environ. Qual.* 24:734-741.
- Gilliam, J.W., Hoyt, G.D., (1987). Effect of conservation tillage on fate and transport of nitrogen. p. 217-240. I: T.L. Logan et al. (redaktør). *Effects of conservation tillage on groundwater quality*. Lewis Publ., Chelsea, MI.
- Glæsner N., Kjærgaard C., Rubæk G.H., Magid J. (2011) Interactions between soil texture and placement of dairy slurry application: II. Leaching of phosphorus forms. *J. Environ. Qual.* 40:344-351.
- Goss, M.J., Colbourn, P., Harris, G.L., Howse, K.R., (1988). Leaching of nitrogen under autumn-sown crops and the effect of tillage. I: D.S. Jenkinson and K.A. Smith (redaktører). *Nitrogen Efficiency in Agricultural Soils*. Elsevier Applied Science, Barking, UK, side 269-282.
- Goss, M.J., Howse, K.R., Harris, G.L. and Colbourn, P., (1990). The leaching of nitrates after spring fertilizer application and the influence of tillage. I: R. Merckx, H. Vereecken and K. Vlassak (redaktører). *Fertilization and the Environment*. Leuven University Press, Leuven, Belgien, side 20-25.
- Gramlich A., Stoll S., Stamm C., Walter T., Prasuhn V. (2018) Effects of artificial land drainage on hydrology, nutrient and pesticide fluxes from agricultural fields—a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 266:84-99.
- Groffman, P.M., Hendrix, P.F., Crossley, D.A., (1987). Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. *Plant Soil*, 97: 315-3.
- Forsman D., Kjærgaard C. (2014) Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge 1434 — Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. *Geoderma* 223-225:21-32.
- Hansen & Djurhuus (1997). Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil & Tillage Research* 41, 203-219.
- Hansen, E.M., Munkholm, L.J., Olesen, J.E., Melander, B., (2015). Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. *Journal of Environmental Quality* 44, 868-881.

- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Pedersen, M.F., Strandberg, B., Bruus, M., (2020). Efterafgrøder. I: Eriksen, J. Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B. (redaktører) Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet DCA Rapport nr. 174. pp.33-58.
- Harris, G.L., Colbourne, P., (1986). Effect of cultivations on removal of rainfall and nitrate from a mole drained site. I: J.F. de L.G. Solbe (redaktør). Effects of Land Use on Fresh Waters: Agriculture, Forestry, Mineral Exploitation, Urbanisation. Ellis Horwood, Chichester, UK, side 528-532.
- Heathwaite L., Sharpley A.N., Gburek W (2000) A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. J. Environ. Qual. 29:158-166.
- Heckrath G., Brookes P.C., Poulton P.R., Goulding KWT (1995) Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. J. Environ. Qual. 24:904-910.
- Hussain I., Olson K.R., Ebelhar S.A. (1999) Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1335-1341.
- Jordan, V.W., Leake, A.R., Ogilvy, S.E., (2000). Agronomic and environmental implications of soil management practices in integrated farming systems. Asp. Appl. Biol. 62, 61-66.
- Kanwar, R.S., Baker, J.L., Lafren, J.M., (1985). Nitrate movement through the soil profile in relation to tillage system and fertilization application method. Trans. ASAE 28: 1802-1807.
- Kanwar, R.S., Baker, J.L., Baker, D.G., (1988). Tillage and split N-fertilization effects on subsurface drainage water quality and crop yields. Trans. ASAE 31:453-460.
- Kieta K.A., Owens P.N., Lobb D.A., Vanrobaeys, J.A., Flaten D. (2018) Phosphorus dynamics in vegetated buffer strips in cold climates: a review. Environ. Rev. 26:255-272.
- Kotlar A.M., de Jong van Lier Q., Andersen H.E., Nørgaard T., Iversen B.V. (2020) Quantification of macropore flow in Danish soils using near-saturated hydraulic properties. Geoderma 375, doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114479.
- Kitur, B.K., Smith, M.S., Blevins, R.L., Frye, W.W., (1984). Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage com. Agron. J. 76:240-2.
- Knowler, D., Bradshaw, B., (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. Food Policy 32, 25-48.
- Lamb, J.A., Petersen, G.A., Fenster, C.R., (1985). Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation affected by tillage system. Soil Sci. Soc. Am. J. 49, 1441-1446.
- Landbrugsstyrelsen, (2019). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2019 til 31. juli 2020. 1. revision, august 2019.

https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-og_harmoniregler_i_planperioden_2019_2020.pdf.

- Le Bissonais Y. (1996) Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal Soil Science* 47:425-437.
- McDowell L.L., McGregor K.C. (1984) Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. *Soil Till. Res.* 4:79-91.
- Lyngvig, H.S., (2017). 6.2 Jordbearbejdning. I: Bennetzen, E.H. og Pedersen, H.H. (redaktører). *Inspiration og vejledning til pløjefri dyrkning*. 2. udgave. SEGES, side 22-28.
https://www.landbrugsinfo.dk/Afrapportering/innovation/2017/Sider/pl_po_17_1020_2706_Inspiration_og_vejledning_til_ploejefri_dyrkning_Samlet.pdf.
- Mostaghimi S., Dillaha T.A., Shanholtz V.O. (1988) Influence of tillage systems and residue levels on runoff, sediment and phosphorus losses. *Transactions ASAE*. 31(1):128-132.
- Munkholm, L.J., Hansen, E.M., Olesen, J.E., (2008). The effect of tillage intensity on soil structure and winter wheat root/shoot growth. *Soil Use Manage.* 24, 392-400.
- Munkholm, L.J., Hansen, E.M., Kudsk, P., Olesen, J.E., Buus, M., Strandberg, B., Rubæk, G.R., Hutchings, N., (2020). Reduceret jordbearbejdning og direkte såning. I: Eriksen, J. Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B. (redaktører) *Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet*. DCA Rapport nr. 174. pp.185-198.
- Nielsen, J.A., (2014). Miljøeffekter ved reduceret jordbearbejdning. *Planteavlsoorientering* nr. 213, revideret 9. maj 2014, SEGES, Aarhus.
- Nielsen, K.V., Bastholm, K., Høy, J.J., Sandal, E., (2001). Pløjefri dyrkning med nye typer af tandsåmaskiner. *FarmTest-Planteavl* nr. 1, SEGES, Aarhus.
- Olesen J.E., Schjønning P., Hansen E.M., Melander B., Felding G., Sandal E., Fomsgaard I., Heckrath G., Axelsen J.A., Nielsen V., Jacobsen O.H., Petersen S.O., Christensen B.T., Jørgensen L.N., Hansen L.M., Jørgensen M.H. (2002) Miljøeffekter af pløjefri dyrkning. DJF rapport nr. 65, Markbrug. 106 s.
- Petersen C.T., Jensen H.E., Hansen S., Koch C.B. (2001) Susceptibility of a sandy loam soil to preferential flow as affected by tillage. *Soil and Tillage Research* 58:81– 89.
- Petersen, C.T., Nielsen, M.H., Rasmussen, S.B., Hansen, S., Abrahamsen, P., Styczen, M., Koch, C.B., (2016). Jordbearbejdningens indflydelse på pesticidudvaskning til markdræn. *Bekæmpelsesmiddelforskning* nr. 167. Miljøstyrelsen, 157 sider.

- Puustinen M., Koskiahio J., Peltonen K. (2005) Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agric. Ecosys. Environ.* 105:565-579
- Quisenberry, V.L., Phillips. R.E., (1976). Percolation of surface-applied water in the field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 484-489.
- Randall, G.W., Iragavarapu, T.K., (1995). Impact of Long-Term Tillage Systems for Continuous Corn on Nitrate Leaching to Tile Drainage. *J. Environ. Qual.* 24:360-366.
- Rosner J., Klik A. (2001) Wirkstoffabtrag bei konventionell, konservierend und direkt bewirtschafteten Ackerflächen. In: 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. s.219-220.
- Rubæk G.H., Kristensen K., Olesen S.E., Østergaard H.S., Heckrath G. (2013) Phosphorus accumulation and spatial distribution in agricultural soils in Denmark. *Geoderma* 209-210:241-250.
- Sharpley, A.N., Smith, S.J., Williams, J.R., Jones, D.R., Coleman, G.A., (1991). Water quality impacts associated with sorghum culture in the southern plains. *J. Environ. Qual.* 20, 239-244.
- Sharpley A.N., Daniel T.C., Edwards D.R. (1993) Phosphorus movement in the landscape. *J. Prod. Agric.* 6(4):492-500.
- Sharpley, A.N., Smith S.J. (1994) Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil Till. Res.* 30:33-48.
- Shipitalo M.J., Dick W.A., Edwards W.M. (2000) Conservation tillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research* 53:167-183.
- 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 and Tillage Research* 118:66-87.
- Tan, C.S., Drury, C.F., Reynolds, W.D., Gaynor, J.D, Zhang, T.Q., Ng, H.Y., (2002). Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. *Water Science and Technology* 46: 183-190.
- Thomsen, I.K., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Bruus, M., Strandberg, B. (2020). Nedmuldning af halm før vintersæd. Kvælstofvirkemiddelkatalog 2020. Under udarbejdelse.
- Tyler. D.D., Thomas, O.W., (1977). Lysimeter measurements of nitrate and chloride losses from soil under conventional and no-tillage corn. *J. Environ. Qual.* 6: 63-66.

- Thorup-Kristensen, K., (2019). Conservation Agriculture, betydning for afgrøder og miljø. Momentum+ nr. 4, side 28-30.
- Ulén B., Aronsson H., Bechmann M., Krogstad T., Øygarden L., Stenberg M. (2010) Soil tillage methods to control phosphorus loss and potential side-effects: A Scandinavian review. *Soil Use and Management* 26:94-107.
- Vadas P., Kleinman P.J.A., Sharpley A.N., Turner B.L. (2005) Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: A single extraction coefficient for water quality modeling. *J. Environ. Qual.* 34:572-580.
- Verhulst N., Govaerts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P., Deckers J., Sayre K.D. (2010) Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems? In: Lal, R, Stewart, BA (eds.) *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 137-208.
- Webster, R., Lark, R.M., (2018). Analysis of variance in soil research: let the analysis fit the design. *European Journal of Soil Science* 69, 126-139.
- Øgaard A.F. (2015) Freezing and thawing effects on phosphorus release from grass and cover crop species. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* 65(6):529-536.

7 Effekter på jordressourcen af dyrkningsformerne indenfor CA

Lars J. Munkholm og Goswin J. Heckrath, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Dyrkningselementerne i CA påvirker alle jordens struktur – med jordbearbejdning som det element, som har størst direkte betydning. Pløjning og andre former for dyb intensiv jordbearbejdning påvirker umiddelbart og markant jordens struktur ved at løsne jorden og derved markant ændre jordens styrke, porøsitet og afdræningsevne (Kay and Munkholm 2011; Håkansson 2000). Herved vil pakningsskader i pløjelaget blive repareret, jorden forberedt til etablering af et godt såbed, ukrudt bekæmpet og planterester indarbejdet. Den jordløsnende effekt vil aftage over tid i takt med, at jorden "sætter sig" ved naturlige processer eller genpakkes som følge af kørsel i marken (Kay and Munkholm 2011; Håkansson 2000). Pløjefri dyrkning har markant indflydelse på jordens struktur indenfor og mellem dyrkningssæsoner som beskrevet nedenfor.

Efterladelse af halm, intensiv brug af efterafgrøder og alsidige sædskifter vil øge tilførslen af organisk stof som kan fremme dannelsen og stabiliseringen af jorden struktur (Totsche et al. 2018). Der er generelt set mange studier af effekten af jordbearbejdning på jordens struktur men få studier, hvor minimal jordbearbejdning er kombineret med de øvrige CA dyrkningselementer (Blanco-Canqui and Ruis 2018).

Dette afsnit skal ses som en opfølgning på en tidligere litteraturudredning af Olesen et al. (2002) om effekten af pløjefri dyrkning på jordkvaliteten med tilføjelse af resultater fra nyere danske og udenlandske undersøgelser. I den internationale litteratur henvises særligt til litteraturudredninger af Soane et al. (2012); Blanco-Canqui and Ruis (2018).

7.1 Strukturstabilitet

En jord med høj strukturstabilitet i våd tilstand (herefter betegnet vådstabilitet) er vigtig for at minimere tilslemning og skorpedannelse af overfladen hvilket mindsker risikoen for overfladeerosion og nedvaskning af partikler i jorden og dermed tabet af partikelbårne miljøpåvirkende stoffer. En høj strukturstabilitet i tør tilstand (herefter betegnet tørstabilitet) er vigtig på særligt de sandede jorde for at mindske risikoen vinderosion. En høj strukturstabilitet forbedrer også forholdene for planteetablering og fremspiring og giver bedre vand- og luftledningsevne. Den forbedrede vandledningsevne er særligt vigtig i forhold til jordens infiltrationsevne ved ekstreme nedbørshændelser.

Mange danske og udenlandske undersøgelser viser entydigt, at mindsket jordbearbejdningsintensitet øger jordens strukturstabilitet i de overfladenære jordlag (0-10 cm) som konkluderet af Olesen et al. (2002) og Blanco-Canqui and Ruis (2018). Nyere danske undersøgelser fra CENTS forsøgene bekræfter dette i forhold til vådstabilitet selvom forskellene mellem pløjet, reduceret jordbearbejdning og direkte såning ikke var sikre i alle tilfælde (Abdollahi et al. 2017; Abdollahi and Munkholm 2014). Der var en mere entydig positiv effekt af pløjefri dyrkning på vådstabiliteten i 0-10 cm dybde på den kulstoffattige Flakkebjerg lerjord ((JB6) end på den mere kulstofrige lerblandede sandjord på Foulum efter 10-11 års forsøg. Derimod var der en

sikker positiv effekt af pløjefri dyrkning på vådstabiliteten i 10-20 cm dybde i Foulum, men ikke på Flakkebjerg.

Øget vådstabilitet i de øvre jordlag for pløjefri dyrkning kan dels skyldes forbedret strukturdannelse pga. øget kulstofindhold (Jensen et al. 2019b; Jensen et al. 2017) og dels være en direkte effekt af mindsket intensitet af jordbearbejdning (Daraghmeh et al. 2019; Jensen et al. 2020). Blanco-Canqui and Ruis (2018) angiver at det også kan relateres til mindsket variation i temperatur og vandindhold ved direkte såning med planterester på overfladen. I CENTS forsøgene er der generelt set ikke fundet sikker forskel mellem direkte sået og reduceret jordbearbejdning med harvning til 10 cm efter 11 års forsøg (Abdollahi et al., 2017). Det kan skyldes, at den direkte såning forud for målingerne blev foretaget med brede tandskær, som inkluderede en del jordforstyrrelse.

Alsidige sædskifter med omfattende brug af efterafgrøder og efterladelse af planterester øger tilførslen af organisk stof til jorden, hvilket - alt andet lige - vil forbedre jorden strukturstabilitet ved pløjning såvel som ved pløjefri dyrkning. Blanco-Canqui et al. (2011) fandt en positiv effekt af efterafgrøde på vådstabiliteten i et 14 årigt forsøg med pløjefri dyrkning fra Kansas, USA. I CENTS forsøget fandt vi efter 11 år en vekselvirkning mellem jordbearbejdning og sædskifte i et enkelt tilfælde. Vi målte lavere vådstabilitet for pløjet uden halm end for de øvrige behandlinger (Abdollahi et al. 2017).

7.2 Pakkede jordlag og jordstyrke

Udbedring af pakningsskader er formentlig den væsentligste årsag til at praktisere intensiv dyb jordbearbejdning. Pløjning eller dyb harvning løsner jorden effektivt og modvirker dermed pakning i pløjelaget (0-25 cm dybde) forårsaget af fortrinsvis kørsel i marken i den forgange dyrkningssæson. Pakningen ses som øget jordstyrke, nedsat porøsitet og luftskifte samt dårligere afdræning, hvilket giver dårligere betingelser for planteetablering, rodvækst og øger risikoen erosion og tab af lattergas. Ved pløjning til ensartet dybde dannes typisk en kompakt pløjesål lige under pløjedybden i ca. 25-35 cm dybde (Olesen et al. 2002). Ved pløjefri dyrkning vil problemerne med pløjesåls pakning mindskes over tid som følge af mindre kørsel i marken, ingen kørsel direkte på furebunden (som ved traditionel pløjning) og stimulering af den naturlige strukturdannelse i jorden (Abdollahi and Munkholm 2017; Schjønning and Rasmussen 2000).

Ved pløjefri dyrkning vil de øverste 25 cm blive mere kompakt som følge af naturlig sætning af jorden og pakning på grund af kørsel i marken og jordbearbejdning (Soane et al., 2012). Der vil i mange tilfælde dannes en ny bearbejdningssål under den nye bearbejdningsdybde som opsummeret af Olesen et al. (2002) og ligeledes fundet i nyere danske studier (Schjønning and Thomsen 2013; Abdollahi et al. 2017), som indeholder resultater fra såvel kortvarige (3 år) til langvarige (op til 36 år) forsøg. Det gælder særligt for jorde med lavt kulstofindhold (Schjønning and Thomsen 2013). Problemer med pakning tæt på jordoverfladen er angivet som en af de væsentligste forklaringer på den begrænsede udbredelse af pløjefri

dyrkning i nordvest Europa (Soane et al. 2012). Blanco-Canqui and Ruis (2018) viste at pakningsproblemerne har en tendens til at mindske jo længere tid jorden har været direkte sået. Det er sandsynligt at det også vil være tilfældet under danske forhold, men der er ikke nogen undersøgelser, som har set nærmere på dette.

Problemerne med skadelig pakning i det tidligere pløjelag kan mindskes ved at anvende skånsom kørsel på marken (gode dæk med lavt tryk, undgå kørsel når jorden er våd) og ved at stimulere den naturlige strukturdannelse af jorden (Abdollahi og Munkholm, 2017; Soane et al., 2012). Øget tilførsel af organisk stof til jorden ved efterladelse af halm og intensiv brug af efterafgrøder, som praktiseret via CA dyrkningselementerne permanent jorddække med planterester eller levende planter og alsidige sædskifter, vil alt andet lige stimulere dannelse af jordstruktur og mindske problemerne med pakning ved pløjefri dyrkning (Abdollahi og Munkholm, 2017; Abdollahi et al., 2014). Minimal jordforstyrrelse i kombination med øget tilførsel af planterester vil også forbedre betingelserne for regnorme – særligt de dybdegående som laver lodrette bioporer – effekterne kan forekomme allerede efter tre år (Johnson-Maynard et al 2007). Resultater fra CENTS forsøgene har vist en tendens til mindre jordstyrke, hvor halmen blev efterladt på tværs af jordbearbejdningssystemerne (Abdollahi et al. 2017). De fandt en vekselvirkning mellem jordbearbejdning og halm – halm havde særligt en gunstig effekt ved direkte såning. I CENTS er der også fundet at en olieræddike efterafgrøde reducerede jorden styrke – særligt under normal pløjedybde i alle jordbearbejdningsbehandlinger (Abdollahi & Munkholm 2014). De vurderede, at det var af særlig betydning ved direkte såning og minimal jordbearbejdning, hvor man ikke har mulighed for at løse pakningsproblemerne med dyb intensiv jordbearbejdning.

7.3 Kvalitet i forhold til planteetablering

Optimal planteetablering afhænger både sådybde og af betingelserne for vandoptagelse og luftskifte omkring frøet og den nyfremspirede plante. En passende fordeling af små og mellemstore jordaggregater sikrer gode betingelser for vandforsyning og luftskifte. Ved konventionel og reduceret jordbearbejdning skabes dette optimale såbed ved pløjning og harvning. Ved direkte såning kan selve såningen bidrage til et godt såbed – det gælder særligt ved såning med tandskær, som involverer mere jordforstyrrelse end skiveskær. Dog vil jordforstyrrelsen i alle tilfælde være begrænset og derfor er man meget afhængig af at jorden har en god struktur på forhånd og smuldrer let ved en let jordforstyrrelse. Ved overgang til direkte såning ses ofte at jorden i de øverste jordlag bliver mere kompakt som omtalt ovenfor. Det giver sig også udslag i en mere knoldet jord, som særligt kan være et problem på kulstoffattige lerjorde (Munkholm et al. 2008). I den internationale litteratur benævnes dette "hardsetting" (Daniells 2012) i modsætning til en jord med en god naturlig smuldreevne "self-mulching" (Grant and Blackmore 1991). Jo mere jorden har tendens til "self-mulching" jo nemmere vil det være at få succes med direkte såning fra starten af. Over tid vil jordens struktur i de overfladenære jordlag i mange tilfælde forbedres (VandenBygaart et al. 1999a; VandenBygaart et al. 1999b) - især hvor den naturlige strukturdannelse og stabilisering fremmes ved høj

tilførsel af organisk stof via planterester, efterafgrøder mm. Munkholm et al. (2013) fandt at CA dyrkningselementerne Permanent jorddække med planterester eller levende planter og Alsidige sædskifter var nødvendige for at optimal succes med direkte såning i et langvarigt canadisk forsøg.

7.4 Porøsitet, luftskifte og afdræning

Den øgede pakningsgrad i det tidligere pløjelag efter overgang til pløjefri dyrkning vil give sig udslag i mindre volumen af særligt grove makroporer, som har stor betydning for luft- og vandtransporten i jorden (Schjønning & Thomsen, 2013; Abdollahi & Munkholm, 2017). Til gengæld vil makroporerne i højere grad være sammenhængende og lodret gående, hvilket modvirker den negative effekt af mindre volumen af makroporer på luft- og vandtransporten (Abdollahi & Munkholm, 2017; Soane et al., 2012). Olesen et al. (2002) beskriver en række danske og udenlandske undersøgelser, som viser divergerende effekter af pløjefri dyrkning på luft- og vandtransporten. Der er særligt fundet negative effekter ved reduceret jordbearbejdning (f.eks. fræsning), hvor der opbygges et meget kompakt lag lige under den nye bearbejdningsdybde (Schjønning 1989). Blanco-Canqui and Ruis (2018) konkluderer i en nyere global oversigtsartikel, at direkte såning – i forhold til intensivt bearbejdet jord - øgede infiltrationsevnen for vand i de fleste tilfælde, men havde varierende effekt på den hydrauliske ledningsevne.

Nyere resultater fra CENTS forsøgene viser, at både reduceret jordbearbejdning og direkte såning reducerer mængden af grove porer og de afledte funktioner af disse i forhold til luft- og vandtransport efter 11 års forsøg (Abdollahi and Munkholm 2017). Det var særligt et problem på den kulstoffattige sandblandede lerjord i Flakkebjerg. I langvarige danske forsøg med pløjefri dyrkning udført af SEGES er der ikke fundet forskel i infiltrationsevne mellem pløjet og upløjet for en østdansk lerjord (Filsø and Vestergaard 2019).

Langvarige danske halmforsøg (18-36 år) 5 karakteristiske danske jorde (JB1-7) har tidligere vist en mindre positiv effekt af halm på jordens porøsitet og evne til at lede luft- og vand i forsøg med konventionel jordbearbejdning (Schjønning 2004). CENTS målingerne har også vist, at både efterafgrøde og efterladelse af halm øger mængden af grove porer og forbedrer luft- og vandtransport egenskaberne. For halm var denne effekt størst for direkte såning. CENTS forsøgene viser således at CA dyrkningselementerne – Permanent jorddække med planterester eller levende planter og Alsidige sædskifter med efterafgrøder kan afbøde negative effekter af pløjefri dyrkning på porøsiteten og luft- og vandlednings egenskaberne.

I praksis oplever mange, at jordens afdræningsevne er bedre ved pløjefri dyrkning og særligt direkte såning i forhold til pløjning (Hans Henrik Pedersen, personlig meddelelse). Det kan formentlig forklares med at en god afdræningsevne for en nyligt bearbejdet jord hurtigt kan aftage i takt med, at jorden sætter sig, bliver pakket på grund af kørsel og overfladen tilslemmes (Daraghmeh et al. 2008).

7.5 Vandholdende evne og jordtemperatur

Mange studier har vist at vandindholdet generelt set er højere i løbet af vækstsæsonen for pløjefri dyrkning end for pløjning i de overfladenære jordlag som opsummeret af Olesen et al. (2002) og Blanco-Canqui and Ruis (2018). Det kan relateres både til en højere indhold af vandholdende porer – dvs. mere plantetilgængeligt vand – og reduceret fordampning på grund af planterester på overfladen (Olesen et al. 2002). Et større indhold af plantetilgængeligt vand i de øvre jordlag (0-10 cm) kan forklares med et øget indhold af organisk stof i dette jordlag og en højere pakningsgrad (færre grove porer og flere medium størrelses vandholdende porer). Resultater fra CENTS forsøgene bekræfter at volumen af vandholdende porer var højest for pløjefri og lavest for pløjet i 4-8 cm dybde, mens billedet var mere uklart i 12-16 cm dybde (Abdollahi and Munkholm 2017). I Flakkebjerg gav direkte såning højest indhold af vandfyldte porer (direkte såning>reduceret jordbearbejdning>pløjet) i 4-8 cm dybde, mens der ikke var sikker forskel mellem de pløjefri behandlinger i Foulum. I 12-16 cm dybde var der størst volumen af vandfyldte porer i pløjet i Foulum, mens det var højest for direkte såning i Flakkebjerg. Schjønning and Thomsen (2013) fandt ligeledes et højere indhold af vand ved markkapacitet for pløjefri dyrkning end for pløjet i de overfladenære jordlag (0-4 cm) i deres undersøgelse af 11 danske og sydsvenske forsøg. Derimod var det højest for pløjet i de nedre del af pløjelaget (14-18 cm). Samlet set fandt de, at mængden af plantetilgængeligt vand i 0-22 cm dybde udtrykt i mm for ensartet jordmængde var højere for pløjet end for upløjet (61,6 vs. 57,7 mm).

Indholdet af vandfyldte porer i jorden øges generelt set med indholdet af organisk stof i jorden (Jensen et al. 2019a). Således forventes CA dyrkningselementerne Permanent jorddække med planterester eller levende planter og Alsidige sædskifter med efterafgrøder at have positiv effekt på indholdet af plantetilgængeligt vand i jorden som følge af den høje tilførsel af organisk stof til jorden. Langvarige danske halmforsøg har dog ikke vist en sikker effekt af halm på plantetilgængeligt vand (Schjønning 1985) og CENTS forsøgene viste heller ikke nogen sikker effekt af halm eller alsidigt sædskifte efter 11 års forsøg (Abdollahi and Munkholm 2017).

Vi konkluderer, at CA dyrkningselementerne generelt set fremmer planternes vandforsyning på grund af mindsket fordampning og til dels øget vandholdende evne i de øverste jordlag (0-10 cm dybde). Derimod vurderes, at CA har begrænset effekt på mængden af plantetilgængeligt vand i hele jordprofilen.

En lang række danske og udenlandske undersøgelser viser at pløjefri dyrkning – og særligt direkte såning – mindsker jordtemperaturen om foråret (Olesen et al. 2002; Blanco-Canqui and Ruis 2018). Planterester på jordoverfladen har en isolerende virkning og mindsker fordampning og den generelt højere vandholdende evne i de overfladenære jordlag. Pløjefri dyrkning – og særligt direkte såning med planterester på overfladen – vil også mindske den daglige temperaturvariation. Den lavere jordtemperatur om foråret forsinker planternes fremspiring og vækst, hvilket særligt giver problemer i år med sen vækststart om foråret

(kolde, våde forhold). En forsinket afgrødeudvikling om foråret ved pløjefri dyrkning er også vist i CENTS forsøgene (Munkholm et al. 2008) og i en række ældre forsøg som opsummeret af Olesen et al. (2002).

7.6 Jorderosion

Erosion på dyrkningsjord er udbredt i Danmark (Kuhlman, 1986; Schjønning et al. 2009; Onnen et al. 2019), omend dens effekt på jordkvalitet og det langsigtede dyrkningspotentiale ikke er undersøgt til bunds. Under danske forhold er processerne vand-, vind- og jordbearbejdningserosion relevante. På kraftigt eroderede områder medfører jorderosion tab af muldjord og dermed organisk stof og næringsstoffer. Inden for marken er områder med sedimentaflejringer fra vand eller vind typisk kendetegnet som værende sandede og med svag struktur. På langt sigt mindsker disse forhold dyrkningspotentialet (Lal, 2001). Både vand- og vinderosion kan desuden medføre negative konsekvenser for det omgivende miljø, navnlig transport af næringsstoffer som fosfor men også pesticider til vandområder (Rekolainen et al. 2006; Reichenberger et al. 2007). Et nyligt landsdækkende modelleringsstudie estimerer, at 155.000 ha landbrugsjord årligt er udsat for mere end 2.5 t/ha jordtab ved vanderosion (Onnen et al. 2019). Baseret på studier igennem 1960'erne blev risikoarealet for vinderosion, eller jordfygning, den gang opgjort til ca. 500.000 ha (Kuhlman, 1986). Erosionsraterne blev ikke kortlagt. Imidlertid blev jordtab over 10 tons ha^{-1} ikke anset for usædvanlig (Kuhlman, 1986). Det forventes dog, at risikoarealet for vinderosion er mindre i dag pga. større udbredelse af vintersæd (Schjønning et al. 2009) og pløjefri dyrkning. Omfanget af jordbearbejdningserosion i Danmark er heller ikke kendt. Den opstår, når et kuperet areal pløjes eller på anden måde bearbejdes intensivt (Van Oost et al. 2006). Jordbearbejdningserosion fungerer således som en effektivt transportproces, der flytter jord fra bakketoppe til lavninger inden for marken. I bakkede danske morænelandskaber er denne erosionsform udbredt, og danske studier antyder, at årlige erosionsrater tit overstiger 10 tons ha^{-1} (Heckrath et al. 2005). Således anses jordbearbejdningserosion for en vigtigere årsag til jordforringelse end vand- og vinderosion i Danmark (Schjønning et al. 2009). Reduceret jordbearbejdning i forbindelse med CA er det åbenlyse tiltag mod jordbearbejdningserosion. Conservation agriculture kan desuden mindske risikoen for vand- og vinderosion betydeligt (Verhulst et al. 2010; FAO, 2015). Dette vil også være gældende under danske forhold, selvom der ikke foreligger specifikke undersøgelser. Imidlertid har danske studier dokumenteret effekter af CA på en række faktorer, der har central betydning for omfanget af jorderosion (kap 6.1, 6.2, 6.4).

7.6.1 Vanderosion

Forekomst og intensitet af vanderosion afhænger af samspillet af fire hovedfaktorer: klima, landskabsform, jordens fysiske tilstand og vegetation (Morgan, 2005). Plantedyrkningen påvirker i allerhøjeste grad de to sidstnævnte. Dyrkningselementerne i CA kan således reducere vanderosion ved at i) øge infiltration af nedbør i jorden; ii) gennem vådstabilitet øge jordens modstand mod løsrivelse af små partikler, der nemt kan transporteres; iii) gennem jorddække og planterødder beskytte jordoverfladen mod erosionsvirkningen

af regndråber og afstrømning. Prasuhn (2012) har demonstreret en markant reduktion i vanderosion ved CA på mark og oplandsniveau i forbindelse med langtidsstudier i Schweiz. Effekten af CA på jordens fysiske tilstand er beskrevet i detalje oven for.

Jordens struktur og porøsitet kontrollerer infiltrationen af nedbør. Ved høj infiltration mindskes risikoen for overfladeafstrømning og dermed erosion. Selvom pløjefri dyrkning har en tendens til at reducere porøsiteten i de øverste jordlag (kap. 6.4; Morris et al. 2010), medfører CA ofte øget infiltration (Verhulst et al., 2010; Blanco-Canqui and Ruis, 2018). Derimod kan minimal jordbearbejdning eller direkte såning uden etablering af permanent jorddække resultere i nedsat infiltrationsevne (Rasmussen, 1999). Effekten af CA på vandinfiltration blev forklaret med mindre skorpedannelse og især et bedre udviklet makroporesystem i overjord som følge af øget organisk stof indhold, biologisk aktivitet, ikke mindst makrofaunaens, samt biologisk jordløsning ved eftergrøder med kraftigt udviklet rodsystem (Gyssels et al. 2005). Derudover øger afgrøderester ruheden af jordoverfladen, som derved temporært kan opmagasinere nedbør og dermed give mere tid til infiltration (Kwaad et al. 1998).

Løsrivelse af små partikler fra aggregater som følge af regndråbernes påvirkning er det første trin i vanderosionsprocessen (Le Bissonais, 1996; Issa et al. 2006). Desuden bidrager intensiv jordbearbejdning til nedbrydning af jordens aggregater, som øger potentialet for partikelmobilisering. Løse partikler kan derefter transporteres med det afstrømmende vand over længere distancer i forbindelse med fladeerosion. Den del af partiklerne, der ikke fjernes, indgår i skorpedannelsen, hvorved infiltrationen reduceres og afstrømningsrisikoen øges med tiden (Le Bissonais, 1996; Kuhn et al. 2012). Når afstrømningen bliver mere koncentreret og hurtigt strømmende kan den udgrave små erosionsriller og transportere større jordmængder (Morgan, 2005). Det er veldokumenteret, at både løsrivelsen og udgravningen af riller falder i takt med stigende aggregatstabilitet (Meyer and Harmon, 1984; Le Bissonais, 1996). Således reducerer CA også erosionsrisikoen igennem dens positive effekt på aggregat- og vådstabilitet samt minimal mekanisk påvirkning af jorden (kap. 6.1; Tebrügge and Düring, 1999; Verhulst et al. 2010).

Jorddække i form af planternes overjordiske dele og døde planterester kan både absorbere noget af regndråbernes energi og bremse det afstrømmende vand (Carter, 1994). Derved mindskes såvel nedbrydning af overfladestrukturen og løsrivning af små jordpartikler som forsegling af overfladen (Le Bissonais, 1996), til gavn for vandinfiltration sammenlignet med ubeskyttet jord. Konsekvensen er kraftigt reduceret vandafstrømning (Armand et al. 2009; Sasal et al. 2010). Vanderosionsrisikoen aftager således eksponentiel med stigende jorddække, men ligeledes også med tætheden af rodnettet (Gyssels et al. 2005). Et betydende jorddække (minimum 30%) i perioder med erosiv nedbør er således afgørende og kan i kombination med veludviklet rodnet forklare en stor del af CA's erosionsbegrænsede effekt (Verhulst et al. 2010).

7.6.2 Vinderosion

Vinderosion eller jordfygning har historisk set udgjort en risiko for de danske jorde på sletteområder (Kuhlman, 1986), men en langsigtet læplantningsindsats har begrænset truslen (DFFE, 2005). Ligesom vanderosion afhænger vinderosion af klimafaktorer, landskabsform, jordbundsforhold og dyrkningstiltag (Munkholm & Sibbesen, 1997). Vinden eroderer jord, når tre forhold opstår samtidig: vindhastigheden overstiger en kritisk grænse for at flytte jordpartikler, jorden har en lav tørstabilitet som typisk gælder sandjord (kap. 6.1) og jordoverfladen er forholdsvis tør og har kun et spinkelt jorddække (Nordstrom & Hotta, 2004). Disse forhold indtræder regelmæssigt om foråret på sandede områder i Jylland og i forbindelse med intensiv jordbearbejdning og dyrkning af vårafgrøder. Da CA også fremmer aggregatstabilitet på sandede jorde vil det reducere sårbarheden for vinderosion. Det kommer til udtryk i en betydelig mindre andel af vinderoderbare jordpartikler ved anvendelse af CA på sandede eller siltede jorde i en årrække i forhold til konventionel dyrkning (Verhulst et al. 2010). Mindst lige så vigtigt er det tætte jorddække ved CA for effekten på vinderosion (Morgan, 2005). Under danske forhold er afgrøderester afgørende, som direkte beskytter jordoverfladen mod vindens påvirkning. Samtidig nedsætter de udtørringen af det øverste jordlag, hvorved aggregaterne bliver mere kohæsive (Munkholm & Sibbesen, 1997).

7.7 Referencer

- Abdollahi L., Getahun G.T., Munkholm L.J. (2017) Eleven Years' Effect of Conservation Practices for Temperate Sandy Loams: I. Soil Physical Properties and Topsoil Carbon Content. *Soil Science Society of America Journal* 81 (2):380-391. doi:10.2136/sssaj2016.06.0161
- Abdollahi, L., Munkholm, L. J. & Garbout, A. (2014). Tillage system and cover crop effects on soil quality: II. pore characteristics. *soil Science Society of America Journal*, 78, 271-279.
- Abdollahi L., Munkholm L.J. (2014) Tillage system and cover crop effects on soil quality: I. chemical, mechanical, and biological properties. *Soil Science Society of America Journal* 78 (1):262-270. doi:10.2136/sssaj2013.07.0301
- Abdollahi L., Munkholm L.J. (2017) Eleven Years' Effect of Conservation Practices for Temperate Sandy Loams: II. Soil Pore Characteristics. *Soil Science Society of America Journal* 81 (2):392-403. doi:10.2136/sssaj2016.07.0221
- Armand R., Bockstaller C., Auzet A.V., Van Dijk P. (2009) Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability: Application to conservation tillage context. *Soil & Tillage Research* 102:27-37.
- Blanco-Canqui H., Mikha M.M., Presley D.R., Claassen M.M. (2011) Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal* 75 (4):1471-1482. doi:10.2136/sssaj2010.0430

- Blanco-Canqui H., Ruis S.J. (2018) No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326:164-200.
doi:10.1016/j.geoderma.2018.03.011
- Carter M.R. (1994) A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. *Soil and Tillage Research* 31:289-301.
- Daniells I.G. (2012) Hardsetting soils: a review. *Soil Research* 50 (5):349-359.
doi:https://doi.org/10.1071/SR111102
- Daraghmeh O.A., Jensen J.R., Petersen C.T. (2008) Near-saturated hydraulic properties in the surface layer of a sandy loam soil under conventional and reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 72 (6):1728-1737. doi:10.2136/sssaj2007.0292
- Daraghmeh O.A., Petersen C.T., Munkholm L.J., Zhova L., Obour P.B., Nielsen S.K., Green O. (2019) Impact of tillage intensity on clay loam soil structure. *Soil Use and Management* 0 (0):12.
doi:10.1111/sum.12501
- DFFE, (2005). Rapport om effektivvurdering af læplantningsordningen. Direktoratet for Fødevareerhverv, 77 p.
- FAO (2015) Agricultural and Consumer Protection Department. Conservation Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/ag/ca/index.html>.
- Filsø S.S., Vestergaard A.V. (2019) Infiltrationstest og penetrolgger. In: *Oversigt over Landsforsøgene 2019*. SEGES, Aarhus, Denmark, pp 233-235
- Grant C.D., Blackmore A.V. (1991) Self-mulching behaviour in clay soils: its definition and measurement. *Australian Journal of Soil Research* 29 (2):155-173
- Gyssels G., Poesen J., Bochet E., Li, Y. (2005) Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography* 29(2):189-217.
- Heckrath G., Djurhuus J., Quine T.A., Van Oost K., Govers G., Zhang Y. (2005) Tillage erosion and its effect on soil properties and crop yield in Denmark. *Journal Environ. Qual.* 34:312-324.
- Håkansson I. (2000) Packning av åkermark vid maskindrift, vol Rapporter från Jordbearbetningsavdelningen Nr. 99. Institut för Markvetenskap Uppsala, Uppsala
- Issa O.M., Le Bissonnais Y., Planchon O., Favis-Mortlock D., Silvera N., Wainwright J. (2006) Soil detachment and transport on field- and laboratory-scale interrill areas: erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. *Earth Surf. Process. Landforms* 31:929-939
- Jensen J.L., Schjønning P., Christensen B.T., Munkholm L.J. (2017) Suboptimal fertilisation compromises soil physical properties of a hard-setting sandy loam. *Soil Research* 55, 332-340.

- Jensen J.L., Schjønning P., Watts C.W., Christensen B.T., Munkholm L.J. (2019a) Soil water retention: Uni-modal models of pore-size distribution neglect impacts of soil management. *Soil Science Society of America Journal* 83 (1):18-26. doi:10.2136/sssaj2018.06.0238
- Jensen J.L., Schjønning P., Watts C.W., Christensen B.T., Obour P.B., Munkholm L.J. (2020) Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability. *Geoderma* 364. doi:10.1016/j.geoderma.2020.114181
- Jensen J.L., Schjønning P., Watts C.W., Christensen B.T., Peltre C., Munkholm L.J. (2019b) Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. *Geoderma* 337:834-843. doi:https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.034
- Johnson-Maynard, J.L., Umiker, K.J., Guy, S.O., (2007). Earthworm dynamics and soil physical properties in the first three years of no-till management. *Soil Till. Res.* 94 (2), 338–345.
- Kay B.D., Munkholm L.J. (2011) Managing the interactions between soil biota and their physical habitat in agroecosystems. In: *The Architecture and Biology of Soils: Life in Inner Space*. pp 170-195
- Kuhlman, H. (1986) Vinden og landbruget. I: Jensen, K.M. og Reenberg, A. (red.) *Landbrugsatlas Danmark*, pp. 17-23. København, C.A. Reitzels Forlag.
- Kuhn N.J., Armstrong E.K., Ling A.C., Connolly K.L., Heckrath G. (2012) Interrill erosion of carbon and phosphorus from conventionally and organically farmed Devon silt soils. *Catena* 91:94–103.
- Kwaad F.J.P.M., Zijp M.V.D., Dijk P.M.V. (1998) Soil conservation and maize cropping systems on sloping loess soils in the Netherlands. *Soil & Tillage Research* 46:13–21.
- Lal R. (2001) Soil degradation by erosion. *Land Degrad. Develop.* 12: 519-539.
- Le Bissonais Y. (1996) Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal Soil Science* 47:425-437.
- Meyer L.D., Harmon W.C., 1(984) Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Science Society of America Journal* 48:1152–1157.
- Morgan R.P.C. (2005) *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Morris N.L., Miller P.C.H., Orson J.H., Froud-Williams R.J. (2010) The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment—A review. *Soil and Tillage Research* 108: 1-15.
- Munkholm L.J., Sibbesen E. (1997) Tab af fosfor fra landbrugsjord. *Miljøforskning* Nr. 30, 63 p.

- Munkholm L.J., Hansen E.M., Olesen J.E. (2008) The effect of tillage intensity on soil structure and winter wheat root/shoot growth. *Soil use and Management* 24 (4):392-400
- Munkholm L.J., Heck R.J., Deen B. (2013) Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil and Tillage Research* 127:85-91
- Nordstrom K.F., Hotta S. (2004) Wind erosion from cropland in the USA: a review of problems, solutions and prospects. *Geoderma* 121:157-167
- Olesen J.E., Schjønning P., Hansen E.M., Melander B., Felding G., Sandal E., Fomsgaard I., Heckrath G., Axelsen J.A., Nielsen V., Jacobsen O.H., Petersen S.O., Christensen B.T., Jørgensen L.N., Hansen L.M., Jørgensen M.H. (2002) Miljøeffekter af pløjefri dyrkning. DJF rapport nr. 65 Markbrug. 106s.
- Onnen N., Heckrath G., Olsen P., Greve M., Pullens J.W.M., Kronvang B., Van Oost K. (2019) Distributed 692 water erosion modelling at fine spatial resolution across Denmark. *Geomorphology* 342, 150-162.
- Prasuhn V. (2012) On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured after 10 years in Switzerland. *Soil Till. Res.* 120:137-146.
- Rasmussen K.J. (1999) Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil and Tillage Research* 53:3-14.
- Reichenberger S., Bach M., Skitschak A., Frede H.G. (2007) Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness: A review. *Science Total Environ.* 384: 1-35.
- Rekolainen S., Ekholm P., Heathwaite L., Lehtoranta J., Uusitalo R. (2006) Off-site impact of erosion: Eutrophication as an example. In: J. Boardman, J. Poesen (eds.) *Soil Erosion in Europe*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 775-789.
- Sasal M.C., Castiglioni M.G., Wilson M.G. (2010) Effect of crop sequences on soil properties and runoff on natural-rainfall erosion plots under no tillage. *Soil & Tillage Research* 108:24-29.
- Schjønning P. (1985) Soil pore characteristics. II. Effect of incorporation of straw and soil tillage. *Tidsskrift for Planteavl* 89 (5):425-433
- Schjønning P. (1989) Long-term reduced cultivation. II. Soil pore characteristics as shown by gas diffusivities and permeabilities and air-filled porosities. *Soil & Tillage Research* 15:91-103
- Schjønning P. (2004) Porositetsforhold i landbrugsjord II. Effekt af halmnedmuldning og jordbearbejdning. *Tidsskrift for Planteavl* 89:425-433

- Schjønning P., Rasmussen K.J. (2000) Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. *Soil & Tillage Research* 57:69-82
- Schjønning P., Thomsen I.K. (2013) Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. *Soil and Tillage Research* 132 (0):12-20
- Schjønning, P., Heckrath, G., Christensen, B.T. (2009). Threats to soil quality in Denmark. DJF report Plant Science no. 143, Aarhus University.
- 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 and Tillage Research* 118:66-87
- Tebrügge, F. Düring, R.A. (1999) Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.
- Totsche K.U., Amelung W., Gerzabek M.H., Guggenberger G., Klumpp E., Knief C., Lehndorff E., Mikutta R., Peth S., Prechtel A., Ray N., Kogel-Knabner I. (2018) Microaggregates in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 181 (1):104-136. doi:10.1002/jpln.201600451
- VandenBygaart A.J., Protz R., Tomlin A.D. (1999a) Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* 79 (1):149-160
- VandenBygaart A.J., Protz R., Tomlin A.D., Miller J.J. (1999b) Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research* 51:139-149
- Van Oost K., Govers G. (2006) Tillage erosion. In: J. Boardman, J. Poesen (eds.) *Soil Erosion in Europe*. Wiley & Sons, Chichester, UK. pp. 599-608.
- Verhulst N., Govaerts B., Verachtert E., Castellanos-Navarrete A., Mezzalama M., Wall P., Deckers J., Sayre K.D. (2010) Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems? In: Lal, R., Stewart, B.A. (eds.) *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. pp. 137-208.

8 Biodiversitetseffekter af dyrkningsformerne under CA

Jørgen Aagaard Axelsen¹ og Sabine Ravnskov².

1. Institut for Bioscience, Aarhus Universitet
2. Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

8.1 Introduktion til biodiversitet og dens betydning i og på jorden

Da der er mange opfattelser af, hvad biodiversitet eller biologisk mangfoldighed er, giver det mening at starte med at definere det. Biodiversitet kom for alvor på banen i forbindelse med FNs biodiversitetskonvention fra Rio-topmødet i 1992, der definerer den biologiske mangfoldighed således: *"Ved biologisk mangfoldighed (biodiversitet) forstås mangfoldigheden af levende organismer i alle miljøer, både på land og i vand, samt de økologiske samspil, som organismerne indgår i. Biologisk mangfoldighed omfatter såvel variationen inden for og mellem arterne som mangfoldigheden af økosystemer"* (Miljø- og fødevareministeriet, 2020). Denne definition betyder, at begrebet biodiversitet (biologisk mangfoldighed) gælder for både dyrkede og udyrkede økosystemer. Da biodiversitet omfatter alle organismegrupper er det nødvendigt at koncentrere denne videnssyntese til de mest relevante grupper, dvs. de grupper der spiller en rolle for økosystemtjenester i landbruget, de grupper som spiller en afgørende rolle i agroøkosystemerne, og de grupper som har offentlighedens interesse.

8.1.1 Mikroorganismer

Jordens mikroorganismer har en afgørende betydning for jordens fertilitet og struktur, og dermed for jordens dyrkningspotentiale. Generelt har høj forekomst og biodiversitet af jordens mikroorganismer en økosystemservice funktion for planteproduktionen, så en bæredygtig planteproduktion bør derfor værne om de gavnlige mikroorganismer (Schröder et al., 2019). Jordens gavnlige mikroorganismers funktion i forhold til plantedyrkning er dels at øge jordens fertilitet ved at omsætte organisk materiale til uorganiske næringsstoffer, der bliver tilgængelige for planterne, dels ved direkte at optage næringsstoffer og transportere den ind i planten (især arbuskulære mykorrhizasvampe, Rhizobium bakterier) (Parniske, 2008; Sanderson et al., 2013). Mikroorganismene spiller også en afgørende rolle i forhold til jordens struktur, da der for eksempel er en korrelation imellem forekomsten af makroporer i jorden og kvantiteten af arbuskulære mykorrhizasvampe (AMS) (Singh et al., 2013), og mange makroporer i jorden øger jordens dyrkningspotentiale.

Overordnet stimulerer CA med minimal jordbearbejdning, permanent jorddække og alsidige sædskeer jordens mikrobielle forekomst og biodiversitet og dermed mikroorganismernes positive funktion i jordens dyrkningspotentiale (Sanderson et al., 2013).

I den følgende tekst angående mikroorganismer vil effekten af CA dyrkningsformer på hhv. mikrobiel biodiversitet, kvantitet og funktion blive gennemgået i separate afsnit. Der er begrænset litteratur, der dækker effekten af CA på jordens mikrobiologi i sin helhed, derfor vil der i hver af de tre afsnit først blive

inddraget studier, der inkludere CA i helhed og derefter studier der indrager en eller flere af delelementer i CA; minimal jordbearbejdning, permanent jorddække og alsidige sædskifter. I analysen vil der være særlig fokus på AMS, da disse gavnlige svampe ikke blot gavner jordstrukturen (Morris et al., 2019), men danner symbiose med 72% af alle plantearter (Brundrett & Tedersoo, 2018), hvor de har en integreret funktion i planternes næringsstofoptagelse (Smith & Smith, 2011), vækst (Ravnskov & Larsen, 2016) og modstandsdygtighed over for biotisk stress som sygdomme (Yu et al. 2012; Ravnskov & Larsen, 2020) og skadedyr (Cabral et al. 2018) samt abiotisk stress som varmemstress (Cabral et al., 2016), tørkestress (Zhou et al., 2015) og salt stress (Eroğlu et al., 2020), og derfor bliver betragtet som en afgørende økosystemservice for bæredygtig planteproduktion (Gianinazzi et al., 2010; Schröder et al., 2019).

8.1.2 Højere organismer

En betydningsfuld fødekæde, eller nærmere et fødenet, i forbindelse med CA starter med døde plantedele i form af afgrøderester (halm), døde rødder, og døde efterafgrøder. Disse døde plantedele koloniseres af mikroorganismer (svampe og bakterier), der danner fødegrundlaget for mesofaunaen (mider og springhaler), der igen danner en del af fødegrundlaget for overfladelevende prædatoriske edderkopper og biller (f.eks. Holland, 2004, og de Vries et al., 2013). Disse prædatorer udgør sammen med herbivore insekter og frø fra afgrøder og ukrudt fødegrundlaget for nogle af agerlandets fugle, såsom sanglærker og agerhøns. En anden fødekæde har regnormene, som også lever af døde plantedele, som et centralt element, og regnormene udgør en del af fødegrundlaget for nogle af agerlandets fugle og dyr, såsom solsort, sangdrossel, vibe, og grævling (Cunningham et al., 2004). Regnormene har, udover at indgå i fødekæder, to overordnede funktioner i økosystemet, nemlig mineralisering af organisk stof, påvirkning af jordbundens struktur (økosystemingeniører) (Blouin et al., 2013). Regnormene påvirker først og fremmest mineraliseringen af organisk stof ved at spise døde planterester som f.eks. blade og halmrester fra jordoverfladen. Dette frigør i sig selv organiske molekyler i regnormens tarm, der udtømmes til jorden eller på jordoverfladen i form af regnorme"casts", men den vigtigste effekt fremkommer ved at ædeaktiviteten findeler blade og halmrester, hvorved der fremkommer en meget større overflade som mikroorganismerne kan angribe. Denne proces hjælper med til at frigøre de næringsstoffer som er bundet i døde blade og halmrester (Blouin et al., 2013). Regnormene påvirker jordens struktur ved at lave gange, der spiller en rolle for jordens afdræning. Denne effekt skabes overvejende af de aneciske arter, som er større arter med lodrette gangsystemer. Derudover fremmer regnormene dannelsen af stabile aggregater i jorden, som fremmer jordens vandretentionsevne. Dette betyder at regnormene på samme tid kan fremme jordens infiltrationsevne og forbedre jordens evne til at tilbageholde vand (Blouin et al., 2013).

I CA fjernes halmen ikke, og der er udbredt anvendelse af efterafgrøder som slås ned før såning. Dette medfører en betydelig tilførsel af døde plantedele til markens økosystem, hvilket kan anses for at være en "fodring" af de ovennævnte fødekæder. Der er derfor god grund til at forvente en effekt af CA igennem disse fødekæder.

Der findes ingen publicerede videnskabelige artikler fra Danmark angående biodiversitetseffekter af CA på højere organismer, men der er en hel del upublicerede, som vil blive suppleret med resultater fra internationale undersøgelser, metanalyser og reviews. Med hensyn til internationale undersøgelser er der anvendt reviews og metaanalyser i så stor udstrækning som muligt, og da sådanne undersøgelser er baseret på en lang række detaljerede undersøgelser er de også blevet tillagt stor betydning i konklusionerne.

8.2 Effekt af CA dyrkningsformer på jordens mikrobielle biodiversitet

Generelt vil alle elementer af CA dyrkningsformer; minimal jordbearbejdning, permanent jordække og alsidige sædskifter alle øge jordens mikrobielle diversitet, men der er få artikler, der inddrager alle elementer. Forsøg viser for eksempel, at pløjefri dyrkning (no tillage) generelt øger diversiteten af svampe (Wang et al., 2020). Især er effekten af reduceret jordbearbejdning på diversiteten af AMS blevet studeret i forskellige dyrkningssystemer, og undersøgelserne viser, at jo mindre jordbearbejdning, jo større diversitet af AMS (Cruz-Ortiz et al., 2020; de Pontes et al., 2017; Oehl and Koch, 2018; Säle et al., 2015; Wetzel et al., 2014). Derimod er der påvist forskellig effekt af reduceret jordbearbejdning på diversitet af bakterier. Således viste Tyler (2019), at mens 14 år med pløjefri dyrkning generelt øgede den mikrobielle diversitet i jorden, så faldt diversiteten af bakterier, som følge af de færre forstyrrelser i jorden. Wang et al. (2020) fandt ligeledes, at den generelle mikrobielle diversitet i jord med pløjefri dyrkning blev stimuleret, mens der ikke var effekt af pløjefri dyrkning på diversiteten af bakterier. I samme forsøg fandt de, at jorddække med planterester i pløjefri dyrkning øgede diversiteten af svampe, mens der ikke var effekt på diversiteten af bakterier (Wang et al., 2020). Generelt stimulerer alsidige sædskifter, efterafgrøder og samdyrkning af afgrøder den mikrobielle biodiversitet i jorden (Schroeder et al., 2019). Således registrerede Figuerola et al. (2015), at diversiteten af bakterier i pløjefri jord med sædskifte var højere end i marker med monokultur. De fandt også, at der i marker med monokultur var tab af endemiske bakteriearter, man kunne finde i pløjefri marker med sædskifte og i de omkringliggende urørte enge. Et fransk studie undersøgte effekten af forskellige efterafgrøder på diversiteten af bakterier i jorden og fandt, at den vigtigste faktor for jordens diversitet af bakterier var arten af efterafgrøde (Alahmad et al., 2018). I et forsøg med fire forskellige sædskifter fra monokultur-diverse sædskifter gennem 50 år blev diversiteten af AMS undersøgt og resultaterne viste, at sammensætningen af AMS arter var meget forskellige afhængig af sædskiftet (Magurno, Sasvári and Posta, 2014), så sker der en selektion af AMS arter over tid i forskellige sædskifter. Det blev også underbygget af et studie af, hvordan efterafgrøder i forskellige sædskifter med majs påvirkede diversiteten af AMS (Hontoria et al., 2019). De undersøgte, hvordan sammensætningen af AMS arter blev påvirket efter ti år med majs-sædskifter med hhv. ingen efterafgrøde, byg eller vikke som efterafgrøde og fandt størst diversiteten med byg som efterafgrøde.

Diversiteten af AMS blev undersøgt i et forsøg med fire forskellige sædskifter gennem 50 år, og resultaterne viste, at sammensætningen af AMS arter afhang af sædskiftet (Magurno, Sasvári and Posta, 2014), hvilket

illustrerer en selektion af AMS arter i forskellige sædskifter. Det blev også underbygget af et studie af, hvordan efterafgrøder i forskellige sædskifter med majs påvirkede diversiteten af AMS (Hontoria et al., 2019). De undersøgte, hvordan sammensætningen af AMS arter blev påvirket efter ti år med majssædskifter med hhv. ingen efterafgrøde, byg eller vikke som efterafgrøde og fandt størst diversitet med byg som efterafgrøde.

Pløjefri dyrkning, permanent jorddække og alsidigt sædskifte inklusiv efterafgrøder øger således generelt den mikrobielle diversitet i jorden.

8.3 Effekt af CA dyrkningsformer på forekomst af mikrober i jorden

Studier viser, at CA dyrkningsformer generelt øger forekomsten (biomassen) af mikrober i jorden. Det er eksemplificeret af Meriles et al. (2009), der viste, at forekomsten af mikrober var højere i pløjefri jord med sædskifte end i jord med reduceret jordbearbejdning og monokultur. Ligeledes demonstrerede et studie af Ferrari et al. (2015), at forekomsten af mikrober var højere i pløjefri jord med treårigt sædskifte samt efterafgrøder end i pløje-fri jord med monokultur og uden efterafgrøder. Rosner et al. (2018) fokuserede på effekten af fire forskellige typer jordbearbejdning fra konventionel pløjning til pløjefri, otte forskellige efterafgrøder/efterafgrødeblandinger og hovedafgrøderne hvede og solsikke på forekomsten af AMS i jorden. De fandt, at både jordbearbejdning og efterafgrøde havde betydning for forekomsten af AMS i jorden, med flest AMS sporer i jord med pløjefri dyrkning og med bælgeplanter som efterafgrøde, hvor der var ca. 40% flere AMS sporer i jorden end i jord uden efterafgrøde og med pløjning.

Mange studier demonstrerer, at pløjning reducerer forekomsten af mikrober i jorden, f.eks. viste et tysk studie, at der var 20% højere forekomst af mikrober i pløjefri jord til sammenligning med i pløjet jord (Murugan, Koch and Joergensen, 2014). Et andet studie i majs- og bønne marker viste, at der var op til 87 % mere mikrobiel biomasse i pløjefri jord sammenlignet med i pløjet jord (Roldan et al. 2007), hvilket også underbygges i en schweizisk undersøgelse, der viste, at reduceret jordbearbejdning resulterede i hhv. 59, 108 og 105 % mere biomasse af bakterier, svampe og protozoer i forhold til i jord med konventionel pløjning (Kuntz et al. 2013). Et andet schweizisk studie demonstrerede, at reduceret jordbearbejdning øgede forekomsten af AMS i de øverste 20 cm af jorden (Säle et al., 2015), hvilket blev underbygget af Zhong, Zeng and Jin (2017), der fandt en højere forekomst af både AMS, bakterier og protozoer i pløjefri jord i sammenligning med i pløjet jord. Sidstnævnte studie fandt også, at afgrøderester i marken, en anden del af dyrkningspraksis i CA, øgede forekomsten af bakterier, svampe, actinobakterier og AMS i jorden. Martinez-Garcia et al. (2018) undersøgte, hvordan forskelligt organisk materiale, som kompost, kitin og afgrøderester af hhv. kløvergræs og morgenfrue, påvirkede jordens mikrobiologi, samt hvordan det vekselvirkede med brug af efterafgrøderne havre eller rug i forhold til markjord, der lå brak. De fandt, at det organiske materiale øgede forekomsten af bakterier, saprotrofe svampe og AMS i jorden, og denne effekt blev forstærket ved brug af havre som efterafgrøde. Forskellige efterafgrøder; byg, rug, vinter-hvede, vinter-triticale, havre, sort havre, vikke, kløver, vinter-ært, raps, majroe og radise påvirkede også forekomsten af

mikrober i pløjefri jord ved, at der generelt var signifikant højere forekomst af mikrober (bakterier, saprotrofe svampe, AMS, protozoer) i jord med efterafgrøder end i jord uden, hvor der kunne være op til 40-50% mere mikrobiel biomasse i marker, hvor der blev dyrket efterafgrøder i forhold til i marker uden efterafgrøder (Rankoth et al. 2019).

Forekomsten af AMS sporer i jorden om foråret før såning af hovedafgrøden, kan anvendes som mål for jordens AMS "inokulum potentiale", altså et mål for muligheden for afgrøden bliver koloniseret med AMS. Njero et al. (2015) undersøgte, hvordan tre typer efterafgrøder påvirkede jordens AMS inokulum potentiale. De havde en behandling uden efterafgrøde og dyrkede hhv. sarepta sennep, sandvikke samt en blanding af alm. boghvede, hvid lupin, alm. honningurt, ært, alexandrin kløver, blodkløver og sandvikke i de øvrige tre behandlinger. Resultaterne viste, at jord med sandvikke havde et signifikant højere AMS inokulum potentiale før hovedafgrøden blev sået end de øvrige behandlinger, og i jord med efterafgrødeblandingen var der et signifikant højere indhold af AMS sporer end i jord med sarepta sennep eller uden efterafgrøde. Således havde både sandvikke og frøblandingen som efterafgrøde opformeret jordens AMS inokulum potentiale til gavn for den følgende hovedafgrøde, mens sarepta sennep ikke havde nogle effekt. Det skyldes formentlig, at sarepta sennep ligesom de øvrige korsblomstrede plantearter ikke danner arbuskulær mykorrhiza. Under danske forhold betyder det, at hvis man dyrker f.eks. gul sennep, olieræddike eller andre korsblomstrede som efterafgrøde, så vil det resultere i en lavere forekomst af AMS for hovedafgrøden end hvis man bruger efterafgrøder, der danner arbuskulær mykorrhiza (f.eks. græsser og bælgeplanter).

8.4 Effekt af CA dyrkningsformer på jordens mikrobielle funktion som økosystemservice til planteproduktionen

CA dyrkningsformer fremmer generelt diversitet og forekomst af gavnlige mikrober i jorden og derved også de mikrobielle funktioner, der øger jordens fertilitet og dyrkningspotentiale (Sanderson et al. 2013; Schröder et al. 2019). Da CA dyrkningsformer, som beskrevet ovenfor, generelt stimulerer diversitet og forekomst af jordens gavnlige mikroorganismer, så understøtter de derved jordens saprotrofe mikrobiologi, der har en afgørende funktion i jordens fertilitet ved, at de omsætter organisk materiale til uorganiske næringsstoffer, der bliver tilgængelige for planterne, samt nogle af jordens biotrofe mikroorganismer, som AMS og rhizobium bakterier (i bælgeplanter), der spiller en integreret rolle i planternes optagelse af næringsstoffer. Mange af jordens gavnlige mikroorganismer, som f.eks. plantevækstfremmende bakterier og AMS, har også en afgørende betydning for planternes modstandsdygtighed over for både biotisk (sygdomme og skadedyr) og abiotisk (f.eks. næringsstofmangel, tørke og varme) stress (Cabral et al., 2018; Cabral et al. 2016; Xu et al. 2012; Zhou et al. 2015). Endelig er det vigtigt, at CA dyrkningsformer øger forekomst af AMS, som ved nedbrydning udskiller et protein, glomalin, der har en afgørende betydning for jordstrukturen (Morris et al. 2019). Glomalin fra AMS gavner jordstrukturen både ved at øge jordens antal af makroporer, samt ved at øge jordens vandholdningsevne, hvilket også bidrager til jordens dyrkningspotentiale (Morris et al. 2019; Roldan et al. 2007). Gottshall, Cooper og Emery (2017) fandt 43% mere glomalin fra AMS i

pløjefri jord til sammenligning med i jord, der var pløjet konventionelt. Ligeledes fandt Köhl et al. (2014) signifikant mere biomasse af AMS i pløjefri jord sammenlignet med pløjet jord, og de fandt endvidere, at den øgede mængde af AMS medførte et højere fosforoptag i planter dyrket i den pløjefri jord. Det blev underbygget af Shi et al. (2013), der derudover også, ligesom Roldan et al. (2007), fandt, at pløjefri jord havde en højere mikrobiel enzymaktivitet end jord med pløjning. Sanchez et al. (2019) viste, at efterafgrøder dyrket i pløjefri jord øger den mikrobielle aktivitet i jorden, men at effekten afhænger af arten af efterafgrøde. I samdyrkning af afgrøder kan jordens mikrobiologi have stor betydning for planternes næringsstofoptagelse f.eks. ved, at bælglplanter, der har symbiose med rhizobium bakterier, der fikserer kvælstof, transporterer en del af den kvælstof, de har fået fra bakterierne til naboplanten, f.eks. hvede eller majs, via deres AMS der forbinder dem i jorden (Wahbi et al. 2016, Meng et al. 2015). På den måde øger bælglplantens symbiose med rhizobium bakterier ikke kun kvælstofoptagelsen i bælglplanten, men også i den hvedeplante, som den samdyrkes med. Udover at AMS faciliterer planternes næringsstofoptag og spiller en rolle i fordelingen af næringsstoffer mellem planterne i marken, så argumenterer Cavagnaro et al. (2015) for, at høj forekomst af AMS reducerer næringsstofudvaskning til det omkringliggende miljø. Endelig er den høje forekomst af AMS i jord med CA dyrkningsformer vigtig i forhold til kulstofbinding i jorden, idet mellem 4-20 % af det kulstof planterne fikserer i fotosyntese bliver bundet i biomassen af AMS i jorden (Jakobsen og Rosendahl, (1990). AMS findes i alle landbrugsjorde, men dyrkningsformen er afgørende for, hvor meget AMS der er., og dermed også for hvor meget glomalin i jorden (Singh et al. 2013), Undersøgelser har vist, at glomalin bindes i jorden i mindst 6-42 år, men der er teori om, at den den kan bindes i op til 200 år (Nicols & Wright, 2006). Det betyder, at når CA dyrkningsformer fremmer høj forekomst af AMS i jorden, så er der mere AMS til at kolonisere planterne, og jo mere af det kulstof planterne fikserer i deres fotosyntese, der bliver bundet i AMS, jo mere glomalin dannes og derved skabes en højere kulstofbinding til jorden.

8.5 Effekt af CA på diversitet og tæthed (dyr og fugle)

8.5.1 Generelle effekter af CA

Der er generel enighed i videnskabelige undersøgelser om, at dyrkningssystemet Conservation Agriculture virker fremmende på biodiversiteten både målt i antal arter og tæthed. I et dansk forsøg blev der fundet imellem 3 og 106 gange flere overfladelevende (epigæiske) springhaler i CA-parceller end i konventionelle parceller (Houlborg et al, 2019, Axelsen, 2019), med betydelig stedvis variation. Mht. artsdiversitet af de overfladelevende springhaler viste de samme forsøg en gennemsnitlig forøgelse på 163% med en spændvidde i stigningen fra 7% til 600% imellem forsøgslokaliteterne. I en undersøgelse i vårbyg hos private avlere i Danmark blev der fundet en forøgelse i tætheden af springhaler på 18% i CA og 12% i reduceret jordbearbejdning (RJ, uden pløjning men med harvning) i forhold til konventionelt pløjet system, og samtidig en forøgelse i antallet af edderkopper på 253% i CA og 29% i RJ (Jørgensen, 2017).

Der er i det centrale Frankrig blevet lavet en langtidsundersøgelse af effekterne af et pløjefrit system med dækafgrøder på regnormefaunaen (Pelosi et al, 2009, Pelosi et al., 2015) og den øvrige invertebrat fauna (Henneron et al. 2015). Pelosi et al. (2009) fandt efter 8-10 år flere af de store arter regnorme med lodrette gange (aneciske) og flere overjordiske arter (epigæiske) i det pløjefrie system med dækafgrøder (hhv 57,9 og 16,5 m⁻² aneciske og epigæiske) end i både et konventionelt (hhv. 16,1 og 2,3 m⁻² aneciske og epigæiske) og et økologisk system (hhv. 17,3 og 5,2 m⁻² aneciske og epigæiske). Denne forskel var endnu mere udtalt efter 12 – 14 år (Pelosi et al. 2015). Omvendt fandtes der efter 8 – 10 år flest af de mindre til mellemstore arter (endogæiske) med mere eller mindre vandrette gangssystemer i det konventionelle system (130,4 /m² i forhold til det pløjefrie med dækafgrøder (46,2 m⁻²), men denne forskel var forsvundet efter 12 – 14 år (Pelosi et al, 2015). Den største totale biomasse blev fundet i pløjefrit med dækafgrøder (78,9 g/m²) i forhold til økologisk (37,6 g/m²) og konventionelt (32,1 g/m²), og den største artsdiversitet (Shannon –Wiener index) blev fundet i det pløjefrie system med dækafgrøder i begge perioder (Shannon-Wiener index 2,0; 1,6 og 1,6 i hhv. pløjefrit med dækafgrøder, økologisk og konventionelt). Forskellen i biomasse var blevet klart større efter 12 – 14 år med hhv. 262,5 g/m² i pløjefrit med dækafgrøder imod 71, 8 og 45,6 g/m² i økologisk og konventionelt. Pelosi et al. (2015) prøvede ikke på at adskille betydningen af pløjefri i forhold til betydningen af dækafgrøden. Tilsvarende fandt Henneron et al. (2015) i de samme langtidsundersøgelser at de fleste invertebratgrupper (bænkebidere, tusindben, ederkopper, insektlarver og snegle) var steget signifikant i antal og biomasse ved at undlade pløjning og anvende efterafgrøder i 14 år, mens der ikke blev fundet signifikante effekter på skolopendre, løbebiller og rovbiller. Omvendt fandt Cunningham et al. (2004) større tætheder af rovbiller, løbebiller og ederkopper i pløjefri dyrkning, og Holland (2004) konkluderede i et Europæisk review, at der forekommer flere regnorme i CA end i pløjede systemer.

Søby (2020) har i Danmark lavet en sammenligning af fugletætheder og deres fødegrundlag (frøpulje og arthropoder) i vinterhvede dyrket som CA og pløjet hos private avlere, og fandt gennemsnitlige fugletætheder på 0.1 og 1.4 per ha i hhv. konventionelt pløjede – og i CA systemer i februar (14 gange højere i CA), hvilket viste at CA-markerne var mere attraktive for fugle i vinterperioden end marker fra pløjede systemer. Søbys (2020) resultater viste også tendenser (ikke signifikante) til højere fugletætheder både før og efter jordbearbejdning/såning i august-september. Der var på dette tidspunkt ingen signifikante forskelle i artsdiversitet for fugle selvom tendenserne pegede i retning af en større diversitet i CA. Med hensyn til fugle i sommerperioden har Hundebøl (2020) undersøgt tætheden af fugle i CA og pløjede systemer i vårbyg i juli i Danmark og fundet en 4,5 gange større tæthed af sanglærker (*Alauda arvensis*) i CA (1.1 ha⁻¹) end i pløjet (0,2 ha⁻¹). Disse to danske undersøgelser (Søby, 2020, og Hundebøl, 2020) peger på en positiv effekt af CA på fuglefaunaen. Dette understøttes af Holland (2004), som i en oversigtsartikel hovedsagelig baseret på amerikanske undersøgelser, konstaterede, at CA har en positiv effekt på tætheden af fugle. Konklusionen understøttes delvist af (Barré et al., 2018), som fandt positive effekter af CA på tætheden af sanglærke (*A. arvensis*), bomlærke (*Emberiza calandra*) og gul vipstjert

(*Motacilla flava*) i vinterhvede og vinterraps i Frankrig. Dette resultat afhang dog meget kraftigt af hvordan ukrudtet blev bekæmpet i CA systemerne. Hvis ukrudtet blev bekæmpet med herbicider var fugletætheden for alle tre arter lavere end i konventionelt pløjet, men hvis ukrudtet blev bekæmpet ved hjælp af dækafrøder, var der klart højere fugletætheder i CA. Barré et al. (2018) konkluderede at jo mindre forstyrret dækafrøden var, og jo færre herbicider der blev anvendt, des større var tætheden af fugle i markerne, og de forklarede det med effekter på ukrudtsfrø og arthropoder, som udgør fødegrundlaget for fuglene. Barré et al., (2018) anvendte punkttæller og der kan derfor ikke angives en tæthed af fuglene.

Mht. fødegrundlaget for fuglene fandt Søby (2020) en signifikant større gennemsnitlig frøpulje og arthropodtæthed i CA efter jordbearbejdning/såning, hvilket kan anses for en indikation for fødetilgængeligheden igennem vinteren. Der var ikke signifikant forskel på frøpulje og arthropodtæthed imellem CA og konventionelt før jordbearbejdning/såning (der var dog en tendens). Søby (2020) fandt ikke signifikante forskelle på artsdiversiteten i hverken frøpuljen eller i arthropod-faunaen, selvom der var en ikke-signifikant tendens til højere diversitet i CA, især for arthropoderne. Tilsvarende så Jørgensen (2017) en signifikant forøgelse i tætheden af løbebiller på 69 % i vårbyg i CA ($19,5 \text{ m}^{-2}$) i forhold til pløjet system ($11,4 \text{ m}^{-2}$), og Hundebøl (2020) fandt en signifikant større biomasse af arthropoder i vårbyg i CA ($0,039 \text{ g/m}^2$) mod $0,017 \text{ g/m}^2$ i pløjet. De danske resultater angående positive effekter af CA på arthropoder støttes af resultaterne fra en international oversigtsartikel (Holland, 2004) og af Palma et al. (2014), der i et internationalt overblik over effekterne af CA i forhold til konventionelt landbrug har fundet signifikant positive effekter på arthropod-diversiteten (stiger mere for prædatorer end for phytophage). Garbach et al (2017) har lavet en global oversigtsartikel om økosystemtjenester i forskellige typer landbrug, herunder i CA, og har fundet at biodiversitet og habitatskabelse blev fremmet i 4 undersøgelser, var neutral i 1, og viste ingen tilfælde af negative effekter.

Det kan konkluderes at CA har en positiv virkning på både tæthed og diversitet af regnorme (især de store arter med lodrette gangsystemer), overfladelevende arthropoder, og fugle.

8.5.2 Effekt af minimal jordbearbejdning

Der er modstridende resultater i den internationale litteratur angående effekter af pløjning og pløjefri dyrkning på edderkopper, løbebiller og rovbiller, hvilket skyldes undersøgelsesmetoderne (Holland and Reynolds, 2003, Cunningham *et al.*, 2004), der i de fleste tilfælde er fangglas (pittfalls). Fangglas er aktivitetsfælder, og resultaterne af undersøgelser med den fældetype er meget svært fortolkelige, da forskellige fangster kan skyldes meget andet end reelle forskelligheder i tæthed eller diversitet, f.eks. vegetationsdække der påvirker fremkommeligheden (Cunningham *et al.*, 2004). Derfor er de mange undersøgelser af edderkopper, løbebiller og rovbiller, der udelukkende er baseret på fangglasfangster, ikke medtaget i denne videnssynthese.

De før nævnte forsøg i Danmark, beskrevet af Houlborg et al. (2019) og Axelsen (2019), viste 385% større tæthed af overfladelevende springhaler i CA (22.904 m^{-2}) end i pløjet (4.726 m^{-2}) på de forsøgslokaliteter, hvor der var blevet pløjet ca 1 måned før prøvetagning. I parceller med overfladisk pløjning blev der fundet tætheder midt imellem (13.257 m^{-2}) (180 % højere i overfladisk harvet end i pløjet). I samme forsøg blev der fundet signifikant flere rovbiller (661 % højere), løbebiller (181 % højere) og edderkopper (857% højere) i CA (hhv. 5,3; 7,3 og $6,7 \text{ m}^{-2}$) end i pløjet (hhv. 0,7; 2,7 og 0,7). Disse forskelle må i høj grad tillægges den direkte effekt af pløjning. Disse resultater støttes af Holland and Reynolds (2003), som i England fandt klare positive effekter på løbebiller, rovbiller og edderkopper af at undlade pløjning.

Med hensyn til effekten af reduceret jordbearbejdning fandt Coulibaly et al. (2017) i et firårigt forsøg i det nordlige Frankrig og fundet en klar signifikant positiv effekt på både antal, artsdiversitet og Shannon-Wiener diversitetsindeks af springhalefaunaen, en effekt der var stigende over fire år (Ca 2.000 m^{-2} i pløjet, og ca 7000 m^{-2} i reduceret jordbearbejdning). Dette resultat er umiddelbart i modstrid med en oversigtsartikel baseret på tyske undersøgelser (van Capelle et al., 2012), hvor man fandt en lavere tæthed af springhaler og mider i systemer med direkte såning (ca 6.000 m^{-2} og ca 1.500 m^{-2} for hhv. springhaler og mider) sammenlignet med pløjede systemer (13.500 m^{-2} og ca. 16.000 m^{-2} for hhv springhaler og mider). Dette fald skyldtes de små euedaphiske (dybtlevende) arter, som har en hurtig reproduktion og derved hurtigt kompenserer for en dødelighed i forbindelse med selve pløjningen. Disse små arter må samtidig antages at have en fordel af del løsere jord i pløjede systemer, hvilket forklarer en højere tæthed af disse arter i konventionelt pløjede marker. Disse arter blev ikke medtaget af Houlborg et al. (2019) og Axelsen (2020), som udelukkende så på de overfladelevende arter, der tjener som fødegrundlag for overfladelevende prædatorer.

Med hensyn til regnormefaunaen er der ingen tvivl om, at pløjning har en direkte negativ effekt på både artsdiversitet og tæthed, hvilket er vist i mange undersøgelser (f.eks. oversigtsartikler af Cunningham et al., 2004; van Capelle et al. 2012; Briones and Schmidt, 2017). Især er oversigtsartiklen af Briones and Schmidt (2017) meget overbevisende ved at være baseret på datamateriale fra 165 publikationer over 65 år fra 40 lande. De fandt, at pløjefri dyrkning fremmede tæthed og biomasse af regnorme med hhv. 137% og 127%, og at effekten var mest tydelig for de store (anæciske) arter med dybtborende lodrette gangsystemer.

Pløjning anses ofte for en metode til at kontrollere snegle, men resultaterne er meget variable, når det undersøges grundigt. Således fandt Kennedy et al. (2013) i et niårigt studie i Irland, at der ikke generelt kunne påvises flere snegle i upløjede systemer, da resultaterne varierede meget fra år til år. Dette understøttes yderligere meget klart i en grundig international oversigt af bl.a. snegles afhængighed af jordbearbejdningsintensitet (Rowen et al., 2020), hvor der heller ikke generelt blev påvist flere snegle i upløjede systemer.

Der findes ikke mange undersøgelser af forekomsten af pattedyr i CA, men der findes en undersøgelse fra det nordvestlige Spanien, hvor sydlig markmus (*Microtus arvalis*) viste sig at forekomme klart mere i CA end

i RJ med dyb harvning og specielt mere end i pløjede marker. (Roos et al., 2019). Denne forskel skyldes overvejende at musenes gangsystemer ødelægges ved jordbearbejdning, hvorfor musene får mulighed for at trives i CA-systemer (Roos et al., 2019).

Baseret på danske undersøgelser og en international oversigtsartikel kan det konkluderes at pløjningen har en særdeles negativ direkte effekt på frøpuljen og langt hovedparten af den jordtilknyttede fauna, hvor kun de dybtlevende (euedaphiske) springhaler og mider ikke med sikkerhed bliver reduceret. Den negative effekt af pløjning på frøpulje og overfladelevende fauna slår igennem ved at gøre pløjede marker mindre attraktive for fugle end CA marker. Ca viste sig også mere attraktiv for mus. Overfladisk harvning har også negative effekter på faunaen, men ikke så voldsomme som pløjning.

Da jordbearbejdning har en direkte negativ virkning på det meste af faunaen vil positive effekter af at undlade eller stærkt reducere pløjning og harvning have effekter meget hurtigt, og arter, der ofte har en livscyklus på mindre end et år, vil respondere positivt allerede det første år. For arter, der har en flerårig livscyklus, f.eks. de store regnorme med lodrette gange, vil det naturligvis tage længere tid. Dette må formodes afspejlet i markens fugle, hvor sanglærken kan formodes at respondere inden for en dyrkningssæson, da den er afhængig af insekter til fodring af ungerne, mens viben, der i stor stil lever af regnorme, må vente på de store regnormes respons og må derfor forventes respondere lidt langsommere.

8.5.3 Effekt af planterester

Effekterne af permanent jorddække af halmrester på regnorme er lidt modstridende. Således fandt Coulibaly et al. (2017) ingen signifikante effekter af halmen på hverken antal, artsdiversitet eller Shannon-Wiener diversitetsindeks i forsøg med sammenligning af normalt pløjet og RJ (harvning ned til 8 cm). Omvendt fandt Verhulst et al (2010) i en international oversigtsartikel at tætheden af regnorme steg, hvilket støttes af Menandro et al. (2019), der i sukkerrør i Brasilien fandt at regnormetætheden steg med mængden af halm op til ca. 240 individer/m² ved 15 tons halm/ha. I majs i det nordlige USA fandt Karlen et al. (1994) i et 10-årigt forsøg at regnormetætheden steg fra 53 m⁻² til 78 m⁻² med tilbageførsel af halmen, men også at tilførsel af den dobbelte mængde ikke medførte en yderligere stigning. Giannitsopoulos et al. (2020) fandt i et vinterhvede-vinterraps sædskifte under minimal jordbearbejdning i England, at der var en lineær sammenhæng imellem antallet af regnorme og dækningsgraden af halmrester således at for hver 10% dække steg antallet af regnorme med 15 stk/m². Dette resultat underbygges af i en grundig international oversigtsartikel (Briones & Schmidt, 2017), der beskrev, at pløjefri dyrkning gav 137% flere regnorme, og at denne positive effekt blev forstærket af at efterlade halmresterne på marken efter høst.

I en dansk undersøgelse af betydningen af jordtyper og nedmuldning af halmrester for jordbundens springhaler og mider i et pløjet system fandt man en svag, men ikke statistisk sikker, stigning for både springhaler og mider i parceller med halmnedmuldning, (Christensen et al, 1982). Artssammensætningen af springhaler i denne undersøgelse var karakteriseret ved langt overvejende at bestå af små dybtlevende

arter (euedaphiske) og der var kun ganske få af de større overfladelevende arter, hvilket er karakteristisk for pløjede systemer. Undersøgelsen siger derfor ikke ret meget om effekten af halmrester for faunaen i CA.

Det kan konkluderes, at der i de fleste undersøgelser (heriblandt en international oversigtsartikel) er fundet en klar positiv effekt på regnorme af halmrester i marken, og at der findes stigende tætheder med stigende mængder halm. Samtidig må det konkluderes, at der er et videnshul angående del-effekten af halmrester for biodiversitet i CA-systemer i Danmark og resten af Europa.

8.5.4 Effekt af efterafgrøder

Der er ikke mange undersøgelser af efterafgrøders betydning for biodiversiteten. Axelsen og Thorup-Kristensen (2000) undersøgte effekten af forskellige efterafgrøder i forhold til springhale- og midafaunaen i vårbyg i forsøg i Danmark, hvor efterafgrøderne blev nedmuldet vha. almindelig pløjning kort før såning. Her viste resultaterne helt op til 120.000 springhaler 90.000 mider pr m² i parceller med olieræddike, hvilket var hhv. 6 og 2 gange højere for springhaler og mider end i kontrollen. De øvrige efterafgrøder, vinterrug og håret vikke, viste også signifikant højere tætheder i den efterfølgende bygafgrøde end parceller der havde ligget hen med bar jord igennem vinteren. Disse store tal skyldtes overvejende de små dybtlevende (euedaphiske) arter, der klarer sig godt i pløjet jord. Det er derfor usikkert om disse resultater siger noget om efterafgrøders effekt i et CA-system. Prøverne med disse høje tætheder blev taget i starten af juni. Crotty and Stoate (2019) har sammenlignet regnorme- og springhalefaunaen i februar i England i tre forskellige dækafgrødeblandinger med bar stubmark i et upløjet system med direkte såning, og de fandt ikke signifikante effekter af de tre blandinger sammenlignet med bar stubmark, dvs. ingen betydende effekter i vinterperioden.

Ligesom for halmresterne må det konkluderes at der er et videnshul angående del-effekten af efterafgrøder for biodiversitet i CA-systemer.

8.6 Effekt af CA på funktion/økosystemtjenester (dyr og fugle)

Økosystemtjenester er i Millenium Ecosystem Assessment (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) blevet defineret som "de fordele mennesker opnår fra økosystemer", og der kan ligge mange emner under denne definition. Således bliver emnerne: skadedyrskontrol, bestøvning, næringsstoffrigørelse, beskyttelse af jordbundens struktur og fertilitet, beskyttelse af vand kvalitet og kvantitet, kulstoflagring og biodiversitet anset for økosystemtjenester i en oversigtsartikel omkring økosystemtjenester i CA (Palm et al., 2014). Andre forskere har inkluderet flere emner under begrebet økosystemtjenester, og (Daryanto et al., 2018) har yderligere inkluderet produktion af biomasse og råmaterialer, fysisk og kulturelt miljø, og arkiv for geologisk og arkæologisk arv. Nogle af disse emner er behandlet andre steder i denne rapport, men det vil alligevel være helt umuligt at dække alt, hvad der kan sættes ind under betegnelsen økosystemtjenester. Derfor vil hovedvægten i dette afsnit af rapporten blive lagt på de økosystemtjenester, som biodiversiteten er eller

kan være involveret i, hvilket vil sige bestøvning, næringsstoffriggørelse, samt kontrol af skadedyr og sygdomme.

8.6.1 Generelle effekter af CA

Da CA jf. kapitel 8.5.1 og 8.5.2 virker fremmende på forekomsten af overfladelevende løbebiller, rovbiller og edderkopper kan der forventes en bedre kontrol af skadedyr i CA end i pløjede systemer, hvilket også er blevet nævnt i adskillige undersøgelser. Således har Jørgensen (2017) fundet at bladlusene var under kontrol (tæthed under skadetærsklen) i vårbyg i CA i Danmark uden brug af insekticider, mens 5 ud af 7 konventionelle avlere havde fortaget kemisk bekæmpelse af bladlus. Dette resultat støttes af flere internationale undersøgelser, bl.a. af Garbach et al (2017) der har lavet et globalt review af økosystemtjenester i forskellige typer landbrug, herunder i CA, og fandt at skadedyrskontrol blev fremmet i tre, var neutral i 2 og blev forringet i 2 undersøgelser. I de fleste tilfælde vil skadedyrskontrol som økosystemtjeneste i landbrugsafgrøder i Nordeuropa dreje sig om bladlusekontrol, men (Symondson *et al.*, 1996) fandt også at der blev opnået en bedre kontrol med snegle vha. løbebiller *Pterostichus melanarius* i direkte såede afgrøder end i pløjede.

CA virker jf. kapitel 8.5.1 og 8.5.2 fremmende for antal og biomasse af regnorme, og da regnorme sammen med svampe, bakterier og springhaler deltager i nedbrydning af organisk stof og dermed bidrager til mobilisering af kvælstof (Brussaard, 1997; Filser, 2002), kan det konkluderes at regnormene yder en økosystemservice i form af at fremme tilgængeligheden af kvælstof i CA.

Med hensyn til bestøvning har Dupont (upubliseret) i Danmark undersøgt forekomsten af honningbier, humlebier og solitære bier i hestebønne i blomst i forsøgspareller dyrket med almindelig pløjning og CA, og fandt ingen effekter af CA i forhold til pløjet.

Kulstoflagring i landbrugsjord sker ved at planterester såsom døde rødder, døde blade og halmrester findes og indlejres i stabile aggregater i jorden. Indlejringen i stabile aggregater betyder, at de omsatte plantedele er beskyttet, hvorved de ikke nedbrydes og deres indhold af kulstof bliver oxideret til CO₂ og tabes til atmosfæren. Dannelsen af vandstabile aggregater omkring findelte og delvist omsatte plantedele fremmes jvf. afsnit 8.4 specifikt af arbruskulært mykorrhizasvampe (AMS), og af regnormeaktivitet (Blouin et al., 2013). Regnormenes effekt kommer ved foring af gangene med kulstofholdige slimrester (Don et al., 2008), og ved udskillelse findelte planterester (Bossuyt et al., 2005), planter), som kan indlejres i stabile aggregater. Regnormegangene kan ifølge Blouin et al. (2013) bidrage til lagring af helt op til ca. 300 kg kulstof pr ha. Effekten er dog afhængige af kontinuert tilførsel af organisk stof fra halmrester og/eller efterafgrøder, og hvis regnormene forsvinder vil kulstoflagring i gangene ikke blive vedligeholdt. Don et al. (2008) viste at det lagrede kulstof fra gangene vil blive oxideret i løbet 3 -5 år hvis regnormene forsvinder. Don et al. (2008) konkluderer dog, at regnormenes aktivitet ikke spiller nogen substantiel rolle for kulstoflagringen. En større lagring af kulstof i CA skal derfor nok ikke tilskrives en særskilt effekt af større

regnormeaktivitet, men først og fremmest tilskrives en større tilførsel af planterester fra halmrester og efterafgrøder samt en øget stabilisering af kulstoffet i jorden som følge af øget mikrobiel aktivitet (specielt af AMS). Der er dog samtidig stigende evidens for at regnorme kan forøge produktionen af lattergas med helt op til 37% (Lubbers et al., 2013), hvilket antagelig skyldes at regnormene fremmer N-mineraliseringen.

8.6.2 Effekt af minimal jordbearbejdning

Det er ikke lykkedes at finde mere end en enkelt undersøgelse, der påviser en sammenhæng imellem bestøvning og pløjning, og den er fra USA, hvor squash bien, der bestøver planter fra græskarfamilien, havde tre gange større tæthed i upløjede marker end i pløjede (Shuler, Roulston & Farris, 2009). Denne forskel skyldes, at squash bien ligesom de fleste solitære bier yngler i huller i jorden, og disse huller ødelægges ved pløjning, så nyklækkede bier ikke kan komme op til overfladen.

Der kendes ingen undersøgelser af forekomsten af solitære biers rederhuller i CA i forhold til pløjede systemer fra Europa, men da det er afgørende om bierne kan etablere blivende redehuller, der ikke ødelægges af jordbearbejdning, må der forventes lignende effekter på solitære bier i Danmark."

Der kendes ingen undersøgelser af solitære bier i CA i forhold til pløjede systemer fra Europa, men da det er afgørende om der kan etableres blivende huller, må der forventes lignende effekter på solitære bier i Danmark. Shuler, Roulston og Farris, (2009) fandt ikke effekter af CA på honningbier og humlebier.

8.6.3 Effekt af permanent jorddække med planterester eller levende planter

Der kan ikke umiddelbart forventes en effekt af CA på bestøvere med undtagelse af, hvis undersæede efterafgrøder eller udlæg kan nå at komme i blomst i løbet af sommeren, hvilket pt. ikke er normal praksis. Nogle kendte afgrøder kommer i blomst hen på efteråret, hvilket dog er for sent til at gavne de fleste bestøvere.

8.6.4 Effekt af alsidige sædskifter herunder samdyrkning af afgrøder og brug af efterafgrøder

Et alsidigt sædskifte, som er et af elementerne i CA, er et velkendt præventivt tiltag over for skadedyr og sygdomme, og er et af de bærende elementer i integreret plantebeskyttelse (Barzman et al., 2015). Sædskifter som involverer både vinter- og vårafgrøder anses for bedst i forhold til kontrol af både skadedyr, og ukrudt, og ved at vælge afgrøder fra forskellige plantefamilier i sædskiftet optimeres den naturlige kontrol af mange svampesygdomme (Barzman et al., 2015). Dette understøttes bl.a. af en oversigtsartikel af Stinner og House (1990), som fandt at selvom nogle jordbårne sygdomme havde højere forekomst ved pløjefri dyrkning, så var der flere som faldt i forekomst, og af (Palm et al., 2014), som fandt at sædskifter medførte en reduktion i forekomsten af normalt tabsgivende patogener.

8.7 Referencer

- Alahmad, A., Decocq, G., Spicher, F., Kheirbeik, L., Kobaissi, A., Tetu, T., Dubois, F., Duclercq, J. (2018) Cover crops in arable lands increase functional complementarity and redundancy of bacterial communities. *Journal of Applied Ecology* 56, 651-664.
- Axelsen, J. (2019). Conservation agriculture - slå mange fluer med et smæk. Høring på Christiansborg i Folketingets Energi-, Forsynings- og Klimaudvalg, 23 april 2019. <https://www.ft.dk/samling/20181/almindel/EFK/bilag/258/2048654/index.htm>
- Axelsen, J., Kristensen, K.T., (2000). Collembola and mites in plots fertilised with different types of green manure. *Pedobiologia*, 44, 556 – 566.
- Barré, K., Le Viol, I., Julliard, R., Kerbiriou, C., (2018) 'Weed control method drives conservation tillage efficiency on farmland breeding birds', *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier, 256(May 2017), pp. 74-81. doi: 10.1016/j.agee.2018.01.004.
- Barzman, M., Barberi, P., Nicholas, A., Birch, E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J.E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J.R., Messean, A., Moonen, A. C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J-L., Sattin, M. (2015) 'Eight principles of integrated pest management', *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), pp. 1199-1215. doi: 10.1007/s13593-015-0327-9.
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.J., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64, 161 – 182.
- Bossuyt, H., Six, J., Hendrix, P.F., 2005. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 251 – 258.
- Briones, M. J. I. and Schmidt, O. (2017) 'Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis', *Global Change Biology*, 23(10), pp. 4396-4419. doi: 10.1111/gcb.13744.
- Brundrett, M. C., Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220, 1108-1115.
- Brussaard, L. (1997) 'Royal Swedish Academy of Sciences Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil Biodiversity and Ecosystem Functioning i n Soil', *Source: Ambio*, 26(8), pp. 563-570. Available at: https://blackboard.au.dk/bbcswebdav/pid-1871100-dt-content-rid-5374393_1/courses/BB-Cou-UUVA-72097/Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil.pdf.
- Cabral, C., Ravnskov, S., Tringovska, I. & Wollenweber, B. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi modify nutrient allocation and composition in wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to heat-stress. *Plant and Soil*, 408, 385-399.

- Cabral, C., Wollenweber, B., Antonio, C., Rodrigues, A. M., Ravnskov, S. (2018). Aphid infestation in the phyllosphere affects primary metabolic profiles in the arbuscular mycorrhizal hyphosphere. *Scientific Reports*, 8.
- Cavagnaro, T. R., Bender, S. F., Asghari, H. R., van der Heijden, M. G. A. (2015). The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. *Trends in Plant Science*, 20, 283-290.
- Christensen, B. T., Jensen, M. B., Klausen, P. S., (1987). Springhaler og mider (mikroarthropoder) i forskellige jordtyper med ensidig vårbygdyrkning og halmnedmuldning. Statens Planteavlsvforsøg, Beretning nr. S 1884.
- Coulibaly, S. F. M., Coudrain, V., Hedde, M., Brunet, N. M., Recous, S., Chauvat, M., (2017). Effect of different crop management practices on soil Collembola assemblages: A 4-year follow-up. *Applied Soil Ecology* 119, 354-366
- Crotty F.V., Stoate. C., (2019) The legacy of cover crops on the soil habitat and ecosystem services in a heavy clay, minimum tillage rotation. *Food Energy Secur.* 2019;8:e00169. <https://doi.org/10.1002/fes3.169>
- Cunningham, H. M., Chaney, K., Bradberry, R.B., Wilcox, A., (2004) *Non-inversion tillage and farmland birds: a review with special reference to the UK and Europe, Ibis.*
- Daryanto, S., Fu, B., Wang, L., Jacinthe, P.-A., Zhao, W., (2018) 'Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops', *Earth-Science Reviews*. Elsevier, 185(June), pp. 357-373. doi: 10.1016/j.earscirev.2018.06.013.
- de la Cruz-Ortiz, A. V., Alvarez-Lopezello, J., Robles, C., Hernandez-Cuevas, L. V. (2020). Tillage intensity reduces the arbuscular mycorrhizal fungi attributes associated with *Solanum lycopersicum*, in the Tehuantepec Isthmus (Oaxaca), Mexico. *Applied Soil Ecology*, 149.
- de Pontes, J. S., Oehl, F., Pereira, C. D., Machado, C. T. D., Coyne, D., Da Silva, D. K. A., Maia, L. C. (2017). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. *Applied Soil Ecology*, 117, 178-189.
- de Vries, F.T., Thebault, E., Liiri, M., Birkhofer, K., Tsiafouli, M.A., Bjørnlund, L., Jørgensen, H.B., Brady, M.V., Christensen, S., de Ruiter, P.C., d'Hertefeldt, T., Frouz, J., Hedlund, K., Hemerik, L., Gera Hol, W.H., Hotes, S., Mortimer, S.R., Setälä, H., Sgardelis, S.P., Uteseny, K., van der Putten, W.H., Wolters, V., Bardgett, R., (2013). Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *PNAS*, 110, 14297 – 14301.
- Don, A., Steinberg, B., Schöning, I., Pritsch, K., Joschko, M., Gleixner, G., Schultze, E.-D., 2008. Organic carbon sequestration in earthworm burrows. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1803 – 1812.

- Eroğlu Ç., Cabral C., Ravnskov S., Topbjerg H., Wollenweber B. (2020). Arbuscular mycorrhiza influences carbon-use efficiency and grain yield of wheat grown under pre- and post-anthesis salinity stress. *Plant Biology* doi: 10.1111/plb.13123.
- Ferrari, A. E., Ravnskov, S., Larsen, J., Tonnersen, T., maronna, R. A., Wall, L. G. (2015). Crop rotation and seasonal effects on fatty acid profiles of neutral and phospholipids extracted from no-till agricultural soils. *Soil Use and Management*, 31, 165-175.
- Figuerola, E. L. M., Guerrero, L. D., Turkowsky, D., Wall, L. G., Erijman, L. (2015). Crop monoculture rather than agriculture reduces the spatial turnover of soil bacterial communities at a regional scale. *Environmental Microbiology*, 17, 678-688.
- Filser, J. (2002) 'The role of Collembola in carbon and nitrogen cycling in soil', *Pedobiologia*, 46(3-4), pp. 234-245. doi: 10.1078/0031-4056-00130.
- Garbach, K., Milder, J. C., DeClerck, F. A. J., de Wit, M. M., Driscoll, L., Gemmill-Herren, B. (2017). Examining multifunctionality for crop yield and ecosystem services in five systems of agroecological intensification, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15, 11-28, DOI: 10.1080/14735903.2016.1174810
- Gianinazzi S., Gollotte A., Binet M. N., van Tuinen D., Redecker D., Wipf D. (2010). Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20, 519-530.
- Giannitsopoulos, M. L., Burgess, P. J. and Rickson, R. J. (2020) 'Effects of conservation tillage drills on soil quality indicators in a wheat-oilseed rape rotation: organic carbon, earthworms and water-stable aggregates', *Soil Use and Management*, 36(1), pp. 139-152. doi: 10.1111/sum.12536.
- Gottshall, C. B., Cooper, M., Emery, S. M. (2017). Activity, diversity and function of arbuscular mycorrhizae vary with changes in agricultural management intensity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 241, 142-149.
- Henneron, L., Bernard, L., Hedde, M., Pelosi, C., Villenave, C., Chenu, C., Bertrand, M., Girardin, C., Blanchart, E. (2015). Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-014-0215-8
- Holland, J. M. (2004) 'The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, pp. 1-25. doi: 10.1016/j.agee.2003.12.018.
- Holland, J. M. and Reynolds, C. J. M. (2003) 'The impact of soil cultivation on arthropod (Coleoptera and Araneae) emergence on arable land', *Pedobiologia*, 47(2), pp. 181-191. doi: 10.1078/0031-4056-00181.

- Hontoria, C., Garcia-Gonzalez, I., Quemada, M., Roldan, A., Alguacil, M. M. (2019). The cover crop determines the AMF community composition in soil and in roots of maize after a ten-year continuous crop rotation. *Science of the Total Environment*, 660, 913-922.
- Houlborg, T., Slotsbo, S., og Axelsen, J. A., (2019). Øget biologisk aktivitet i marken afløser behov for sprøjtning mod skadedyr. Indlæg ved Plantekongres 2019.
file:///C:/Users/au3773/Downloads/plk19_28_01_Joergen_Axelsen_Tina_Houlborg_og_Stine_Slotsbo.pptx.pdf
- Hundebøl, N. R. G., (2020). Arthropods as food items for farmland birds in no tillage farming. Bachelor-rapport, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.
- Jakobsen, I., Rosendahl, L. (1990). Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist* 115, 77-83.
- Jørgensen, T. H., (2017). Can reduced tillage in spring barley (*Hordeum vulgare*, L.) fields lead to a higher density of beneficial predators and thereby a natural regulation of insect pests? Specialerapport, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.
- Karlen, D. L., Wollenhaupt, C. C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S., Jordahl, J.L., (1994) 'Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn', *Soil and Tillage Research*, 31(2-3), pp. 149-167. doi: 10.1016/0167-1987(94)90077-9.
- Kennedy, T. F., Connery, J., Fortune, T., Forristal, D., Grant, J. (2013) 'A comparison of the effects of minimum-till and conventional-till methods, with and without straw incorporation, on slugs, slug damage, earthworms and carabid beetles in autumn-sown cereals', *Journal of Agricultural Science*, 151(5), pp. 605-629. doi: 10.1017/S0021859612000706.
- Kohl, L., Oehl, F., van der Heijden, M. G. A. (2014). Agricultural practices indirectly influence plant productivity and ecosystem services through effects on soil biota. *Ecological Applications*, 24, 1842-1853.
- Kuntz, M., Berner, A., Gattinger, A., Scholberg, J. M., Mader, P., Pfiffner, L. (2013). Influence of reduced tillage on earthworm and microbial communities under organic arable farming. *Pedobiologia*, 56, 251-260.
- Lubbers, I.M, van Groenigen, K.J., Fonte, S.J., Six, J., Brassard, L., van Groenigen, J.W. 2013. Greenhouse gas emissions from soils increased by earthworms. *Natur Climate Change*, 3, 187 - 194. |DOI: 10.1038/NCLIMATE1692
- Magurno, F., Sasvari, Z., Posta, K. (2014). From monoculture to the Norfolk system: assessment of arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with different crop rotation systems. *Symbiosis*, 64, 115-125.

- Magurno, F., Sasvári, Z., Posta, K. (2014). From monoculture to the Norfolk system: assessment of arbuscular mycorrhizal fungi communities associated with different crop rotation systems. *Symbiosis* 64, 115-125.
- Martinez-Garcia, L. B., Korthals, G., Brussaard, L., Jorgensen, H. B., de Deyn, G. B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 263, 7-17.
- Menandro, L. M. S., de Moraes, L. O., Borges, C. D., Cherubin, M. R., Castioni, G.A., Carvalho, J. L. N., (2019). Soil macro fauna responses to sugarcane straw removal for bioenergy production. *BioEnergy Research* 12, 944-957
- Meng, L. B., Zhang, A. Y., Wang, F., Han, X. G., Wang, D. J., Li, S. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 6.
- Meriles, J. M., Gil, S. V., Conforto, C., Figoni, G., Lovera, E., March, G. J., Guzman, C. A. (2009). Soil microbial communities under different soybean cropping systems: Characterization of microbial population dynamics, soil microbial activity, microbial biomass, and fatty acid profiles. *Soil & Tillage Research*, 103, 271-281.
- Miljø- og fødevarerministeriet, Miljøstyrelsen, (2020). Hvad er biodiversitet? <https://mst.dk/natur-vand/natur/biodiversitet/hvad-er-biodiversitet/>
- Millennium Ecosystem Assessment, (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Morris, E. K., Morris, D. J. P., Voget, S., Gleber, S. C., Bigalke, M., Wilcke, W., Rillig, M. C. (2019). Visualizing the dynamics of soil aggregation as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. *Isme Journal*, 13, 1639-1646.
- Murugan, R., Koch, H. J., Joergensen, R. G. (2014). Long-term influence of different tillage intensities on soil microbial biomass, residues and community structure at different depths. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 487-498.
- Nichols, K., Wright, S. (2006). Carbon and nitrogen in operationally defined soil organic matter pools. *Biology and Fertility of Soils* 43, 215-220.
- Njeru, E. M., Avio, L., Bocci, G., Sbrana, C., Turrini, A., Barberi, P., Giovannetti, M., Oehl, F. (2015). Contrasting effects of cover crops on 'hot spot' arbuscular mycorrhizal fungal communities in organic tomato. *Biology and Fertility of Soils*, 51, 151-166.

- Oehl, F., Koch, B. (2018). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in no-till and conventionally tilled vineyards. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 56-60.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., (2014) 'Conservation agriculture and ecosystem services: An overview', *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier B.V., 187, pp. 87-105. doi: 10.1016/j.agee.2013.10.010.
- Palma, C., Blanco-Canquib, H., DeClerckc, F., Gaterea, L., Graced, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187, 87-105
- Parniske, M. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6, 763-775.
- Pelosi, C., Bertrand, M., Roger-Estrade, J., (2009). Earthworm community in conventional, organic and direct seeding with living mulch cropping systems. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 287-295
- Pelosi, C., Bertrand, M., Thénard, J., Mougin, C., (2015). Earthworms in a 15 years agricultural trial. *Applied Soil Ecology* 88 (2015) 1-8
- Rankoth, L. M., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Jose, S., Veum, K., Dewanto, H. A. (2019). Cover Crops on Temporal and Spatial Variations in Soil Microbial Communities by Phospholipid Fatty Acid Profiling. *Agronomy Journal*, 111, 1693-1703.
- Ravnskov, S., Cabral, C., Larsen, J. (2020). Mycorrhiza induced tolerance in *Cucumis sativus* against root rot caused by *Pythium ultimum* depends on fungal species in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Biological Control*, 141.
- Ravnskov, S., Larsen, J. (2016). Functional compatibility in cucumber mycorrhizas in terms of plant growth performance and foliar nutrient composition. *Plant Biology*, 18, 816-823.
- Roldan, A., Salinas-Garcia, J. R., Alguacil, M. M., Caravaca, F. (2007). Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. *Soil & Tillage Research*, 93, 273-282.
- Roos, D. *et al.* (2019) 'Unintentional effects of environmentally-friendly farming practices: Arising conflicts between zero-tillage and a crop pest, the common vole (*Microtus arvalis*)', *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier, 272(August 2018), pp. 105-113. doi: 10.1016/j.agee.2018.11.013.
- Rosner, K., Bodner, G., Hage-Ahmed, K., Steinkellner, S. (2018). Long-term Soil Tillage and Cover Cropping Affected Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Nutrient Concentrations, and Yield in Sunflower. *Agronomy Journal*, 110, 2664-2672.

- Rowen, E. K., Regan, K.H., Barbercheck, M.E., Tooker, J.F. (2020) 'Is tillage beneficial or detrimental for insect and slug management? A meta-analysis', *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier, 294(February), p. 106849. doi: 10.1016/j.agee.2020.106849.
- Sale, V., Aguilera, P., Laczko, E., Mader, P., Berner, A., Zihlmann, U., van der Heijden, M. G. A., Oehl, F. (2015). Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry*, 84, 38-52.
- Sanchez, I. I., Fultz, L. M., Lofton, J., Haggard, B. (2019). Soil Biological Response to Integration of Cover Crops and Nitrogen Rates in a Conservation Tillage Corn Production System. *Soil Science Society of America Journal*, 83, 1356-1367.
- Sanderson, M. A., Archer, D., Hendrickson, J., Kronberg, S., Liebig, M., Nichols, K., Schmer, M., Tanaka, D., Aguilar, J. (2013). Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop-livestock systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28, 129-144.
- Schroder, P., Sauvetre, A., Gnadinger, F., Pesaresi, P., Chmelikova, L., Dogan, N., Gerl, G., Gokce, A., Hamel, C., Milian, R., Persson, T., Ravnskov, S., Rutkowska, B., Schmid, T., Szulck, W., Teodosiu, C., Terzi, V. (2019). Discussion paper: Sustainable increase of crop production through improved technical strategies, breeding and adapted management - A European perspective. *Science of the Total Environment*, 678, 146-161.
- Shi, Y. C., Lalande, R., Hamel, C., Ziadi, N., Gagnon, B., Hu, Z. Y. (2013). Seasonal variation of microbial biomass, activity, and community structure in soil under different tillage and phosphorus management practices. *Biology and Fertility of Soils*, 49, 803-818.
- Shuler, R. E., Roulston, T. H., Farris, G. E. (2009) 'Farming Practices Influence Wild Pollinator Populations on Squash and Pumpkin', *Journal of Economic Entomology*, 98(3), pp. 790-795. doi: 10.1603/0022-0493-98.3.790.
- Singh, P. K., Singh, M., Tripathi, B. N. (2013). Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. *Protoplasma*, 250, 663-669.
- Smith S.E., Smith F.A. (2011). Roles of mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology* 62, 227-50.
- Stinner, B. and House, GJ, (1990) 'Arthropods And Other Invertebrates In Conservation-Tillage Agriculture', *Annual Review of Entomology*, 35(1), pp. 299-318. doi: 10.1146/annurev.ento.35.1.299.

- Symondson, W. O. C. *et al.* (1996) 'Effects of Cultivation Techniques and Methods of Straw Disposal on Predation by *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) Upon Slugs (Gastropoda: Pulmonata) in an Arable Field', *The Journal of Applied Ecology*, 33(4), p. 741. doi: 10.2307/2404945.
- Søby, JM, (2020). Effect of agricultural practice on birds and their fodder in fields of winter wheat. Specialerapport, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.
- Tyler, H. L. (2019). Bacterial community composition under long-term reduced tillage and no till management. *Journal of Applied Microbiology*, 126, 1797-1807.
- Wahbi, S., Maghraoui, T., Hafid, I. M., Sanguin, H., Oufdou, K., Prin, Y., Duponnois, R., Galiana, A. (2016) Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. *Applied Soil Ecology* 107: 91-98.
- Wang, H. H., Li, X., Li, X., Wang, J., Li, X. Y., Guo, Q. C., Yu, Z. X., Yang, T. T., Zhang, H. W. (2020). Long-term no-tillage and different residue amounts alter soil microbial community composition and increase the risk of maize root rot in northeast China. *Soil & Tillage Research*, 196.
- Wetzel, K., Silva, G., Matczinski, U., Oehl, F., Fester, T. (2014). Superior differentiation of arbuscular mycorrhizal fungal communities from till and no-till plots by morphological spore identification when compared to T-RFLP. *Soil Biology & Biochemistry*, 72, 88-96.
- Xu, L. H., Ravnskov, S., Larsen, J., Nicolaisen, M. (2012). Linking fungal communities in roots, rhizosphere, and soil to the health status of *Pisum sativum*. *Fems Microbiology Ecology*, 82, 736-745.
- Yu, L., Nicolaisen, M., Larsen, J., Ravnskov, S. (2012). Molecular characterization of root-associated fungal communities in relation to health status of *Pisum sativum* using barcoded pyrosequencing. *Plant and Soil*, 357, 395-405.
- Zhong, S., Zeng, H. C., Jin, Z. Q. (2017). Influences of different tillage and residue management systems on soil nematode community composition and diversity in the tropics. *Soil Biology & Biochemistry*, 107, 234-243.
- Zhou, Q., Ravnskov, S., Jiang, D., Wollenweber, B. (2015). Changes in carbon and nitrogen allocation, growth and grain yield induced by arbuscular mycorrhizal fungi in wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to a period of water deficit. *Plant Growth Regulation*, 75, 751-760.
- Zhou, Q., Ravnskov, S., Jiang, D., Wollenweber, B. (2015). Changes in carbon and nitrogen allocation, growth and grain yield induced by arbuscular mycorrhizal fungi in wheat (*Triticum aestivum* L.) subjected to a period of water deficit. *Plant Growth Regulation*, 75, 751-760.

- van Capelle, C., Schrader, S., Brunotte, J. (2012) 'Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota - A review with a focus on German data', *European Journal of Soil Biology*, pp. 165–181. doi: 10.1016/j.ejsobi.2012.02.005.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Deckers, J., Sayre, K.D., (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems?, in: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137–208

9 Opsummering og konklusion

Lars J. Munkholm¹, Elly Møller Hansen¹, Jørgen Aagaard Axelsen², Sabine Ravnskov¹, Per Kudsk¹, Bo Melander¹,

¹Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

²Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

9.1 Oversigt over CA effekter på drivhusgasser, miljø, jordressource og biodiversitet

9.1.1 Drivhusgasser

I sammenligning med pløjede kornbaserede systemer vil Conservation Agriculture (CA) alt andet lige øge kulstoflagringen. Det skyldes først og fremmest mere alsidige sædskifter med hyppigere dyrkning af efterafgrøder og konsekvent efterladelse af halm. Tal fra kvadratnettet viser en effekt på 0,4 Mg C/ha/år ved efterladelse af halm fra vinterafgrøder (Taghizadeh-Toosi et al., 2014), mens modelstudier beregner et potentiale på 0,07-0,14 t C/ha/år (Taghizadeh-Toosi and Olesen, 2016). Taghizadeh-Toosi and Olesen (2016) vurderede imidlertid, at potentialet for ekstra kulstoflagring ved efterladelse af halm var beskedent i Danmark, da en stor del allerede efterlades (51% i 2014) og en stor del af det resterende anvendes som foder og strøelse og tilbageføres som husdyrgødning (Taghizadeh-Toosi and Olesen, 2016). For efterafgrøder regnes med en effekt på 0,27 t C/ha/år under danske forhold (Olesen et al., 2018). En vis mængde efterafgrøder er obligatorisk for danske landmænd og bliver derfor allerede brugt i stort omfang. Olesen et al. (2018) vurderede, at der var potentiale for 205.000 ha ekstra efterafgrøder, hvilket svarer til 170 kt CO₂-ækv/år baseret på data fra 2014-16 (Ørum og Thomsen (2016), refereret i Olesen et al. (2018)). Ved ændringer i sædskifterne imod større andel af vårafgrøder vil det potentielle areal med efterafgrøder kunne øges. Men samtidig har nye krav til efterafgrøder betydet, at en del af dette areal udnyttes allerede. Vi henviser til Hansen og Thomsen (2020) for en nærmere redegørelse vedr. potentiale for efterafgrøder. Det ekstra potentielle areal for efterafgrøder kan realiseres som et led i CA dyrkning, men også inden for traditionelt pløjede systemer. Der er som estimeret af Taghizadeh-Toosi and Olesen (2016) et betydeligt større potentiale for kulstoflagring ved at inkludere flerårig græs i sædskiftet (typisk 1 t C/ha/år). Det kan gøres i både CA og traditionelt pløjede systemer. Den direkte effekt af direkte såning på kulstoflagringen er generelt set begrænset for kolde og våde klimaforhold som de danske ifølge både internationale metastudier (Meurer et al., 2018, Powlson et al., 2014, Sun et al., 2020) og danske undersøgelser fra forsøg og praksis (Hansen et al., 2015, Nielsen and Jensen, 2014, Schjøning and Thomsen, 2013). Dog tyder nye danske forsøg på, at direkte såning kan øge kulstoflagringen efter længere varende (17 års) praktisering af direkte såning (kapitel 5). Der var tæt på signifikant ($p=0,07$) effekt af jordbearbejdning på ændring i kulstofkoncentrationen i 0-50 cm dybde efter 17 år forsøg på to danske jorde (Flakkebjerg, JB6; Foulum, JB4) (Gómez-Muñoz et al., 20xx). Omregnet til kulstoflagring svarede til en forskel på 3,9 t C/ha (0,2 t C/ha/år) for Flakkebjerg og på 6,1 t C/ha (0,4 t C/ha/år) for Foulum efter 17 års forsøg (kapitel 5).

Ud over effekt af CA dyrkningselementerne på kulstoflageringen vil der også være en brændstofbesparelse på op til 0,1t CO₂ ækv/ha/år for direkte såning (kapitel 5). Denne effekt slår fuldt igennem allerede fra 1. år.

Potentialet i at begrænse drivhusgasemissionen ved at øge kulstoflagringen i landbrugsjorden skal ses i forhold til at landbruget bidrog med 11.041 kt CO₂-ækv. i 2018 (Nielsen et al., 2020).

Som følge af øget mængde planterester under omsætning (fra halm og efterafgrøder) vil CA alt andet lige øge udledningen af lattergas fra markerne sammenlignet med traditionelle kornbaserede systemer. Denne effekt vil dog til en vis grad modvirkes af mindre tab på grund af mindsket tilførsel af kvælstof i kunstgødning (forfrugtsværdi) og mindsket udvaskning på grund af efterafgrødernes udvaskningsreducerende virkning. Desuden viser flere undersøgelser, at pløjefri dyrkning og især direkte såning kan mindske tabet af lattergas ved omsætning af planterester under danske forhold. Den samlede effekt af CA på lattergasemissionen vurderes som usikker, og vil være meget afhængig af de givne dyrknings- og klimaforhold. CA dyrkningselementer forventes både at have en hurtig (1 år) og mere langsigtet virkning på lattergasudledningen, men vi har ikke mulighed for at give en mere præcis beskrivelse af den tidlige udvikling på basis af den nuværende viden. Lattergasudledningen fra dyrket jord var i 2018 beregnet til 4.073 kt CO₂-ækv., hvoraf udledning i forbindelse med gødskning (husdyr og handelsegødning) og planterester var de væsentligste poster (Nielsen et al., 2020). Der er således stort behov for at få kvantificeret effekten af CA på lattergasudledningen og betydningen af tiltag til at mindske udledningen.

9.1.2 Miljøeffekter

9.1.2.1 Kvælstof

Reduceret jordbearbejdning herunder direkte såning praktiseres i større eller mindre grad over det meste af verden under meget forskellige betingelser mht. klima og jordtype. Mange af forsøgsresultaterne for effekt på nitratudvaskning er modstridende, dvs. der er opnået både reduceret udvaskning, øget udvaskning eller ingen effekt ved reduceret jordbearbejdning i sammenligning med pløjning forud for såning. Tilstedeværelsen af veletablerede afgrøder har betydning for risiko for efterfølgende udvaskning. Udbytteerne ved reduceret jordbearbejdning i forsøg, som har fundet sted under klimaforhold, der er sammenlignelige med det danske, har oftest været lidt mindre eller på niveau med udbytteerne i pløjede systemer. I de tilfælde, hvor der opnås sammenlignelige udbytter, vurderes udvaskningen ikke at være forskellig fra udvaskningen i pløjede systemer. Ved at kombinere direkte såning med efterafgrøder og efterladelse af halm, som i CA, kan der opnås reduceret udvaskning tilsvarende udvaskning fra pløjede systemer med efterafgrøder og halmnedmuldning. Effekten af efterafgrøder på udvaskning forventes fra år 1 (Hansen et al., 2020).

9.1.2.2 Fosfor

Dyrkningsformerne indenfor CA mindsker stærkt risikoen for vind- og vanderosion og dermed tabet af partikelbåren fosfor fra marken ved transport på jordoverfladen. Derimod kan tabet af opløst fosfor øges ved overfladeafstrømning som følge af frigivelse af opløst fosfor fra planterester og/eller gødning på overfladen. Hvis der er betydelig erosion på marken vil tabet af partikelbåren fosfor være af langt større betydning end tabet af opløst fosfor (kapitel 6). Nogle udenlandske undersøgelser har vist, at tabet til drænene af særligt opløst fosfor er højere for direkte såning end for pløjet jord (kapitel 6). Det forklares med øget forekomst af makropore transport ved direkte såning, som kan fungere som en hurtig transportvej for opløst fosfor på jordoverfladen eller i overfladenære jordlag til drænene. Det bør dog nævnes, at flere sammenhængende makroporer ved pløjefri dyrkning og særligt direkte såning ikke nødvendigvis giver en større risiko for makroporetransport. Der er også behov for lokal vandmætning for at få transporten startet. Særligt hjulspor med lav hydraulisk ledningsevne har vist sig af betydning for at igangsætte makropore transport (Petersen et al., 2016). Petersen et al. (2016) fandt lavere værdier for hydraulisk ledningsevne for hjulspor i pløjet jord end for pløjefri dyrkning. Vi konkluderer, at CA mindsker risikoen for fosfortab ved erosion, men tab af specielt opløst fosfor ved overfladeafstrømning og til drænene kan modvirke denne effekten. Nettoeffekten vurderes derfor at være stærkt afhængig af de givne forhold i forhold til topografi, jordtype, dræn og ikke mindst klima og at variere meget over tid. På arealer med væsentlig risiko for vanderosion, som udgør 6,1% af det dyrkede areal (Onnen et al., 2019) vil CA være et effektivt virkemiddel til at mindske fosfortabet (Munkholm et al., 2020). Pløjefri dyrkning vurderes at have en umiddelbar effekt på risikoen for tab af fosfor ved vind og vanderosion (Munkholm et al., 2020).

9.1.2.3 Pesticider

Der foreligger ingen undersøgelser, som sammenligner pesticidforbruget i CA med traditionelle pløjede systemer. Derimod findes der en række europæiske undersøgelser, hvor herbicidforbruget ved pløjefri dyrkning, som omfatter CA, er sammenlignet med blandt andet pløjede systemer. Disse undersøgelser har alle vist et højere forbrug af herbicider herunder glyphosat ved pløjefri dyrkning, hvilket kan tilskrives dels større ukrudtsproblemer og dels et øget behov for kemisk nedvisning af efterafgrøder. En opgørelse baseret på data fra den danske SJI database viste samme tendens. Der foreligger ikke tilsvarende detaljerede undersøgelser over fungicid- og insekticidforbruget.

9.1.3 Jordressourcen

Dyrkningsformerne indenfor CA vurderes samlet set til at have en gunstig effekt på jordens strukturen og markant mindske risikoen for erosion. Elementerne "Tilbageførsel af planterester" og "Alsidede sædskifter med efterafgrøder" vil øge tilførslen af organisk stof, hvilket vil stimulere den naturlige strukturdannelse. Ved minimal jordbearbejdning vil det organiske stof blive koncentreret i de overfladenære jordlag, hvilket alt andet lige forårsager en forbedret strukturstabilitet og vandinfiltrationsevne. Denne effekt forventes at vise sig indenfor få år og udbygges over tid (schjønning og Rasmussen, 1989; Blanco-Canqui og Ruis, 2018).

Derimod kan der opstå problemer med pakning under den nye bearbejdningsdybde, mens problemer med pløjesål mindskes over tid. Pakning er særligt et problem for kulstoffattige sandblandede lerjorde/lerblandede sandjorde som har nemt ved at pakke sammen ("hardsetting"). Pakningsproblemerne vil typisk blive modvirket af dannelse af et mere sammenhængende system af lodretgående makroporer – typisk bioporer dannet af rødder og regnorme, som det vil tage år at opbygge. Dyrkningsselementerne "Tilbageførsel af planterester" og "Alsidige sædskifter med efterafgrøder" kan modvirke problemerne med pakning nær jordoverfladen ved stimulering af naturlig strukturdannelse. Den forbedrede strukturstabilitet i de overfladenære jordlag ved CA mindsker risikoen for vind- og vanderosion markant. Når dette kombineres med permanent jorddække vil risikoen for vind- og vanderosion være stærkt begrænset ved CA dyrkning. Den minimale jordbearbejdning vil samtidig stærkt mindske jordbearbejdningserosionen, som kan være betydelig i bakkede områder for pløjet jord. CA dyrkningsselementer forventes at have en umiddelbar effekt på risikoen for erosion.

9.1.4 Biodiversitet

9.1.4.1 Mikroorganismer

Primært udenlandske studier viser, at CA dyrkningsformer med pløjefri dyrkning, permanent jorddække og alsidige sædskifter stimulerer jordens diversitet, forekomst og funktion af gavnlige mikroorganismer. Desværre er der ganske få studier, der belyser CA effekt på jordens mikrobiologi og funktion under danske planteproduktionsforhold. En større viden om, hvordan CA dyrkningsformer kan facilitere den økosystemservice jordens gavnlige mikrobiologi kan bidrage med i dansk planteproduktion, ville muliggøre udvikling af en mere langsigtet, bæredygtig strategi til at øge jordens dyrkningspotentiale.

9.1.4.2 Dyr og fugle

Både danske og udenlandske undersøgelser viser at CA har en klar positiv effekt på biodiversiteten i marken. Specielt er resultaterne meget klare for regnorme, overfladelevende springhaler, løbebiller, rovbiller, edderkopper og fugle, som de fleste undersøgelser handler om. For jordlevende små springhalearter ses der en nedgang i CA. Resultaterne gælder i de fleste tilfælde både tæthed og diversitet, og der kan forventes klare effekter allerede efter den første dyrkningssæson.

9.1.4.3 Økosystemtjenester

Den stimulerende effekt af CA dyrkningsformer på biodiversiteten virker fremmende for flere økosystemtjenester i planteproduktion. Den øgede biodiversitet fremmer økosystemtjeneste til planteproduktionen ved mobilisering af næringsstoffer fra dødt organisk stof primært pga. øget forekomst af regnorme, springhaler og mider, samt til skadedyrskontrol primært udført af løbebiller, rovbiller og edderkopper. Den udbredte brug af sædskifter har i sig selv en reducerende effekt på både sygdomme og skadedyr. Desuden fremmer CA dyrkningsformer forekomsten af AM svampe, der både bidrager til planternes næringsstofoptagelse og vækst samt til at forbedre jordstrukturen, så jordens

dyrkningspotentiale øges. AM svampene bidrager også som økosystemservice til at modvirke effekter af klimaforandringer ved at øge kulstoflagring i jorden.

Tabel 9.1. Oversigt over effekter af CA dyrkningselementerne på drivhusgasser, miljøeffekter, jordressourcen og biodiversitet sammenlignet med pløjede kornbaserede systemer. "?" angiver at der formentlig er en effekt, men at den kan gå begge veje.

	Drivhusgasser			Begrænse miljøeffekter		Forbedre jordressourcen			Forøge biodiversitet	
	Kulstof i jord	Begrænse lutttergas	Samlet effekt	Kvælstof	Fosfor	Pesticider	Erosion	Jordstruktur	Overjordisk	Underjordisk
Reduceret jordbearbejdning	(↑)	(↑)	↑	?	↑	↓	↑	(↑)	↑	↑
Direkte såning	(↑)	(↑)	↑	?	↑	↓	↑	(↑)	↑	↑
Alsiddigt sædskifte og efterafgrøder	↑	↓	?	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Tilbageførsel af planterester	↑	↓	?	?	↑	?	↑	↑	↑	↑
Samlet CA effekt	↑	?	?	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑

9.2 CA med fokus på minimale klima- og miljøeffekter

I forhold til drivhusgasser vil kulstoflagringen fremmes hvor halm efterlades, man har en høj andel af efterafgrøder og eller flerårige afgrøder, har højt udbytt niveau, og har så kort tid med bar jord som muligt for at optimere tiden til fotosyntese (evt. sået som udlæg) samt vælger efterafgrøder med en stor produktion af biomasse. For lattergas udledning forøger en stor mængde planterester fra halm og efterafgrøder risikoen for tab. Den kan mindskes ved høst af efterafgrøder, optimere tidspunkt for afslutning af vækstforløb og ved at lade planteresterne ligge oven på jorden (direkte såning). Brug af nitrifikationshæmmere kan sandsynligvis også mindske udledningen. For miljøeffekter vil tabet af kvælstof ved udvaskning kunne reduceres ved at have en høj andel af efterafgrøder og eller flerårige græsafgrøder i sædskiftet. For fosfor er permanent jorddække med levende afgrøder og planterester og direkte såning effektivt til at mindske tabet ved erosion. For pesticider er det afgørende med alsidige sædskifter (vinter+vårafgrøder, korn vs. bredbladede) og gerne flerårige afgrøder for at nedbringe problemer ukrudt og sygdomme ved overgang til pløjefri dyrkning. Biodiversitet vil fremmes ved direkte såning, alsidige sædskifter, efterladelse af så meget halm som muligt efterlades, og anvendelse af efterafgrøder, som har symbiose med arbuskulær mykorrhiza,

9.3 Referencer

- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Pedersen, M.F., Strandberg, B., Bruus, M., (2020). Efterafgrøder. I: Eriksen, J. Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B. (redaktører) Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet DCA Rapport nr. 174. pp.33-58. Aarhus Universitet.
- Hansen, E. M., Munkholm, L. J., Olesen, J. E., Melander, B. (2015). Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. *Journal of Environmental Quality*, 44, 868-881.
- Meurer, K. H. E., Haddaway, N. R., Bolinder, M. A., Kätterer, T. (2018). Tillage intensity affects total SOC stocks in boreo-temperate regions only in the topsoil—A systematic review using an ESM approach. *Earth-Science Reviews*, 177, 613-622.
- Munkholm, L. J., Kudsk, P., Jørgensen, L. N., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N. (2020). Optimering af jordbearbejdning, fx pløjeretning, - tidspunkt og bearbejdningsintensitet, pløjefri dyrkning. I: Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B., Jacobsen, B.H.. *Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet*. DCE Rapport nr. 379. pp. 75-87. Aarhus University.
- Nielsen, J. A. & Jensen, J. L. (2014). Miljøeffekter ved reduceret jordbearbejdning.
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrechtsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M., Hansen, M.G. 2020. Denmark's National Inventory Report 2020. Emission Inventories 1990-

2018 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 900 pp. Scientific Report No. 372 <http://dce2.au.dk/pub/SR372.pdf>

- Olesen, J. E., Petersen, S. O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P., Lassen, P. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. Aarhus Universitet
- Onnen, N., Heckrath, G., Stevens, A., Olsen, P., Greve, M. B., Pullens, J. W. M., Kronvang, B., Van Oost, K. (2019). Distributed water erosion modelling at fine spatial resolution across Denmark. *Geomorphology*, 342, 150-162.
- Petersen, C. T., Nielsen, M. H., Rasmussen, S. B., Hansen, S., Abrahamsen, P., Styczen, M., Koch, K. B. (2016). Jordbearbejdningens indflydelse på pesticidudvaskning til markdræn. *Bekæmpelsesmiddelforskning*, 167. Miljø og Fødevareministeriet, Miljøstyrelsen.
- Powlson, D. S., Stirling, C. M., Jat, M. L., Gerard, B. G., Palm, C. A., Sanchez, P. A. & Cassman, K. G. (2014). Nitrate leaching, yields and carbon sequestration after noninversion tillage, catch crops, and straw retention. *Nature Climate Change*, 4, 678-683.
- Schjønning, P. & Thomsen, I. K. (2013). Shallow tillage effects on soil properties for temperate-region hard-setting soils. *Soil and Tillage Research*, 132, 12-20.
- Sun, W., Canadell, J. G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., Fischer, T. & Huang, Y. (2020). Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology*, n/a.
- Taghizadeh-Toosi, A. & Olesen, J. E. (2016). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. *Agricultural Systems*, 145, 83-89.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., Kristensen, K., Elsgaard, L., +Ystergaard, H. S., Lægdsmand, M., Greve, M. H. & Christensen, B. T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 65, 730-740.
- Ørum, J.E., Thomsen, I.K. (2016). Vurdering af model og økonomiske beregninger af bedriftscases for målrettet regulering (MR). Notat fra IFRO (Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi). 14. oktober. 2016.

10 Perspektivering

Lars J. Munkholm¹, Elly Møller Hansen¹, Jørgen Aagaard Axelsen², Bo Melander¹,

¹Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

²Institut for Bioscience, Aarhus Universitet

10.1 Udfordringer, muligheder, svagheder og styrker ved dyrkningsformerne under CA eller variationer/delelementer deraf i Danmark

Nærværende rapport viser, at CA dyrkningselementerne samlet set og i nogle tilfælde hver for sig kan bidrage til en udvikling af planteproduktion mod lav klimabelastning og forbedret klimatilpasning og bæredygtighed. Rapporten viser, at CA - sammenlignet med langvarige kornbaserede pløjede systemer med begrænset brug af efterafgrøder - giver muligheder for at forbedre jordressourcen, øge kulstoflagringen og biodiversiteten og formindske miljøpåvirkningen med kvælstof og fosfor. Disse fordele kan relateres til én eller flere af de tre CA dyrkningselementer (1. minimal jordbearbejdning, 2. permanent jorddække med planterester eller levende planter samt 3. alsidige sædskifter med samdyrkning og efterafgrøder) og forudsætter således ikke altid, at alle elementerne anvendes på samme tid. For eksempel kan den gunstige effekt på kvælstofudvaskningen primært relateres til effekten af efterafgrøder - som i mange år har indgået som et centralt virkemiddel i den danske regulering vedrørende kvælstoftab. Systemer med pløjefri dyrkning og særligt direkte såning lykkes dyrkningsmæssigt normalt bedst på veldrænede lerrige jorde, som har et moderat til højt kulstofindhold.

Rapporten viser også, at der er udfordringer ved CA dyrkning - sammenlignet med langvarige kornbaserede pløjede systemer med begrænset brug af efterafgrøder - i forhold til afhængighed og forbrug af herbicider, udledning af lattergas og planteetablering og vækst. Det er særlig vanskeligt at praktisere CA i økologisk jordbrug på grund af problemer med ukrudt. Ved CA i konventionelt jordbrug er der stor afhængighed af at kunne anvende herbicider og særligt glyphosat. Som beskrevet i kapitel 3 er det en udfordring at holde forbruget af herbicider nede på samme niveau som i traditionelt pløjede systemer. Meget tyder dog på, at CA-dyrkning efter nogen tid kan føre til færre ukrudtsproblemer end reduceret jordbearbejdning. I forhold til lattergas er der udfordringer i forhold til at begrænse udledningen ved omsætning af planterester i systemer med intensiv brug af efterafgrøder og konsekvent efterladelse af halm. Der kan være dyrkningsmæssige udfordringer i forhold til planteetablering og vækst på særligt kulstoffattige lerjorde og meget sandede jorde. Udfordringer, som i mange tilfælde kræver en overgangsperiode før CA dyrkningen er fuldt gennemført. Systemer med minimal jordforstyrrelse som ved direkte såning kan ikke praktiseres ved dyrkning af kartofler og hvor der skal indarbejdes fast husdyrgødning. Det bør også nævnes, at udbytter - og dermed input af kulstof i planterester - på niveau med udbytterne i konventionelle kornbaserede pløjede systemer i mange tilfælde er en forudsætning for optimal effekt af CA dyrkning i forhold til kulstoflagring. Internationale

studier på lerede jorde angiver endvidere at det kan være en udfordring at begrænse tabet af fosfor ved udvaskning på drænedes arealer, men det er ikke belyst under danske forhold (kapitel 6).

Styrkerne ved at praktisere CA er - sammenlignet med langvarige kornbaserede pløjede systemer med begrænset brug af efterafgrøder - sparede arbejds- og maskinomkostninger, mindsket brændstofforbrug, øget kulstoflagring og biodiversitet samt mindsket kvælstofudvaskning og erosionsrisiko. CA har også potentielle styrker set i relation til tilpasning til et mere vådt og variabelt klima – som følge af øget infiltrationsevne, mindsket risiko for tilslemning og erosion.

Den vigtigste svaghed ved CA dyrkningen - sammenlignet med langvarige kornbaserede pløjede systemer med begrænset brug af efterafgrøder - er den store afhængighed af herbicider og særligt glyphosat. Kravene til varieret sædskifte giver mindre mulighed for at have en høj andel af vintersæd (med højere udbyttepotentiale end vårsæd) i sædskiftet. Pløjning – eller anden form for intensiv jordbearbejdning - mangler som en mulighed ved dyrkning af afgrøder med særligt behov for jordløsning og ved udbringning af fast husdyrgødning. Af andre svagheder kan nævnes problemer med agersnegle og etablering og vækst under særligt våde og kolde forhold om foråret. Der vil endvidere være større krav til driftsledelse, da succes med CA afhænger af et frugtbart samspil mellem CA dyrkningselementerne og god timing af operationerne.

10.2 Forskningsbehov

Der er behov for at udvikle CA til at forstærke ovennævnte positive aspekter og mindske eller eliminere ovennævnte negative aspekter under danske jord og klimaforhold. Hidtil har forsknings- og udviklingsindsatsen mest fokuseret på individuelle CA dyrkningselementer – særligt jordbearbejdning, efterladelse af halm og efterafgrøder. Der er brug for en koordineret indsats, som både fokuserer på at optimere enkeltelementerne – f.eks. timing og intensitet af jordbearbejdning i forhold til lattergasudledning – og det samlede CA dyrkningssystem. Det kræver en fokuseret forsknings- og udviklingsindsats, som kombinerer langvarige forsøg med CA dyrkning med kortvarige detailstudier og undersøgelser i praksis.

De langvarige forsøg ved Aarhus Universitet (CENTS forsøgene) blev etableret i 2002 som en opfølgning på Olesen et al. (2002), hvor behovet for forsøg med pløjefri dyrkning i alsidige sædskifter blev påpeget. CENTS forsøgene udgør en unik forskningsplatform (også internationalt set), hvor sædskifter, jordbearbejdningens intensitet, efterafgrøder og efterladelse af halm bliver undersøgt individuelt og i kombination. Forsøgene bliver endvidere brugt til detailundersøgelser i de 6 og 10 underparceller, der findes i hver kombination af sædskifte og jordbearbejdning, på henholdsvis Flakkebjerg og Foulum. CENTS forsøgene er blevet anvendt/anvendes til at belyse effekter af pløjefri dyrkning, herunder CA på drivhusgasser, kvælstoftab, planteskadevoldere (ukrudt, sygdomme og skadedyr), pesticidforbrug, jordstruktur, biodiversitet og udbytter. Sædskifter, efterafgrødevalg og såmaskine til pløjefri dyrkning er blevet tilpasset i løbet af de 18 år, som forsøgene har været etableret. Det drejer sig om justeringer i forhold til mere alsidige sædskifter, inklusion af efterafgrødeblandinger, forbedret såteknik og mere fokus på direkte såning. Der vil også fremadrettet være behov for at tilpasse forsøgene for at belyse

dyrkningselementer til optimering af behandlingerne. Her skal også nævnes, at mere praksisnære CA udviklings og demonstrationsplatforme er igangsat hos landmænd i forbindelse med CarbonFarm og Grønne Marker – Stærkere Rødder projekterne. Der er også fremadrettet behov for frugtbart samspil mellem langvarige forsøg og mere praksisnære udviklings- og demonstrationsaktiviteter.

Med henblik på at fremme fordelene og mindske problemerne ved CA dyrkning ser vi behov for følgende forsknings- og udviklingsaktiviteter:

Klimapåvirkning:

1. Udvikling af forbedrede sædskifter i samspil med jordbearbejdningsstrategier mhp øget kulstoflagring. Strategier som sikrer optimal effekt af efterafgrøderne (særligt tidlig og sikker etablering) og som understøtter potentialet for flerårige afgrøder til brug ved grøn biogas/bioraffinering.
2. Udvikling af strategier til at mindske lattergasudviklingen ved omsætning af planterester (høst af efterafgrøder, tidspunkt for afslutning af vækst, intensitet af jordbearbejdning).
3. Undersøge effekter af kørsel i marken på risikoen for lattergasemission i jord dyrket med forskellig jordbearbejdningsintensitet. Udvikling af strategier til at mindske tabet betinget af jordpakning som følge af kørsel i marken.

Klimatilpasning:

1. Dokumentere og udvikle CA strategier til at begrænse effekter af ekstreme nedbørshændelser og længerevarende våde perioder som i vintrene 2017/18 og 2019/20. Det gælder både i forhold til planteproduktionen, miljøpåvirkning og risiko for oversvømmelser.
2. Belyse og udvikle CA strategier til at mindske effekten af tørkeperioder på planteproduktion og miljø. Det inkluderer sædskifter med tørkeresistente afgrøder, jorddække med dødt plantemateriale til begrænsning af fordampning mm.

Bæredygtighed:

1. Belyse potentialet af flerårige afgrøder i kombination med minimal jordbearbejdning til at mindske miljøpåvirkningen (særligt kvælstof og herbicider) og fremme biodiversiteten.
2. Undersøge effekter af halm og eftergrøder (arter og blandinger) på biodiversiteten i CA systemer og udvikle dyrkningsformerne til at optimere biodiversiteten.
3. Udvikling af IPM-strategier til en forbedret regulering af problemer med ukrudt, sygdomme og skadedyr, som erfaringsmæssigt betinger et øget forbrug af herbicider under pløjefri dyrkningsforhold.
4. Undersøge effekten af CA på risikoen for tab af fosfor, herbicider til drænvand og udvikling af strategier til at modvirke eventuelt øget risiko for tab.
5. Udvikling af strategier til at forbedre jordens struktur ved biologiske jordløsning – flerårige afgrøder og efterafgrøder med kraftig rodvækst som stimulerer regnormeaktivitet, mikrobiel

aktivitet og i sig selv danner nye bioporer i jorden. Dette er af stor betydning på specielt de kulstoffattige morænejorde, med stor tendens til naturlig pakning, såkaldt "hardsetting".

6. Udvikling af dyrkningssystemer og teknologier til at mindske den kørselsbetingede jordpakning – især mindske problemer med pakning af overjorden ved pløjefri dyrkning. Her tænkes særligt på udvikling af pløjefri systemer med brug af letvægtsrobotter.

10.3 Referencer

Olesen, J.E.; Schjønning, P.; Hansen, E.M.; Melander, B.; Felding, G.; Sandal, E.; Fomsgaard, I.S.; Heckrath, G.; Axelsen, J.; Nielsen, V.; Jacobsen, O.H.; Petersen, S.O.; Christensen, B.T.; Jørgensen, L.N.; Hansen, L.M.; Jørgensen, M.H. (2002). Miljøeffekter af pløjefri dyrkning.

Om DCA

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevareforskningen ved Aarhus Universitet.

Centret omfatter institutter og forskningsmiljøer, der har aktiviteter på jordbrugs- og fødevareområdet. Det er primært Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Fødevarer, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning samt dele af Institut for Ingeniørvidenskab.

Aktiviteterne i DCA understøttes af en centerenhed, der varetager og koordinerer opgaver omkring myndighedsbetjening, erhvervs- og sektorsamarbejde, internationalt samarbejde og kommunikation.

Forskningsresultater fra DCA

Resultater fra forskningen publiceres i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Publikationerne kan findes via universitets publikationsdatabase (pure.au.dk).

DCA rapporter

DCA's rapportserie formidler hovedsageligt myndighedsrådgivning fra DCA til Miljø- og Fødevareministeriet. Der kan også udgives rapporter, som formidler viden fra forskningsaktiviteter. Rapporterne kan frit hentes på centrets hjemmeside: dca.au.dk.

Nyhedsbreve

DCA udsender et nyhedsbrev, der løbende orienterer om jordbrugs- og fødevareforskningen og herunder om nye forskningsresultater, rådgivning, uddannelse, arrangementer og andre aktiviteter. Det er gratis at tilmelde sig nyhedsbrevet, og det kan ske på dca.au.dk.



RESUME

Rapporten samler tilgængelig viden om dyrkningssystemet Conservation Agriculture (CA). Yderligere giver rapporten en oversigt over klima- og miljøeffekter ved CA med tydelig indikation af, i hvilken retning effekterne peger (positiv, negativ, eller neutral).

Rapporten er udarbejdet på basis af en vidensyntese, som er udført med udgangspunkt i en gennemgang af litteratur fra Danmark og sammenlignelige lande – først og fremmest Nordvesteuropa. Hvor det er relevant, er litteratur fra den øvrige verden inddraget.

I rapporten konkluderes det, at CA i nogle situationer kan bidrage til en udvikling mod planteproduktion med lav klima-belastning og forbedret bæredygtighed. Det gælder bl.a., når CA sammenlignes med langvarige kornbaserede pløjede systemer med begrænset brug af efterafgrøder. Her kan CA alt andet lige give mulighed for at forbedre jordressourcen, øge kulstoflagringen og biodiversiteten samt mindske miljøpåvirkningen med kvælstof og fosfor.

Der beskrives imidlertid også en række udfordringer ved dyrkningssystemet, bl.a. i forhold til forbrug af herbicider, udledning af lattergas samt planteetablering og vækst.

