



Miljø- og Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder

Synteserapport

Bekæmpelsesmiddelforskning nr. 161, 2016

Titel:

Integreret ukrudtsbekæmpelse i
landbrugsafgrøder

Redaktion:

Per Kudsk¹
Solvejg K. Mathiassen¹
Bo Melander¹
Peter Kryger Jensen¹
Niels Holst¹
Otto Nielsen²
Poul Henning Petersen³

¹ Institut for Agroøkologi, Aarhus Institut

² Nordic Beet Research

³ Videncenter for Landbrug

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2016

ISBN nr.

978-87-93283-80-0

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejlighed gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Sammendrag	6
Introduktion	10
1. Projektets indhold	14
1.1 Arbejdspakke 1: Sædskiftets betydning for IPM-baseret ukrudtsbekæmpelse	14
1.1.1 Baggrund	14
1.1.2 Formål	14
1.1.3 Metode.....	14
1.2 Arbejdspakke 2: Prognosemodel for spirehvide i frø af ukrudtsgræsser	15
1.2.1 Baggrund	15
1.2.2 Formål	15
1.2.3 Metode.....	15
1.3 Arbejdspakke 3: Betydning af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling	16
1.3.1 Baggrund	16
1.3.2 Formål	16
1.3.3 Metode.....	16
1.4 Arbejdspakke 4: Mellem- og efterafgrøders ukrudtseffekt	18
1.4.1 Baggrund	18
1.4.2 Formål	18
1.4.3 Metode.....	18
1.5 Arbejdspakke 5: Dynamik i bestanden af tokimbladet ukrudt gennem vækstsæsonen	19
1.5.1 Baggrund	19
1.5.2 Formål	19
1.5.3 Metode.....	19
1.6 Arbejdspakke 6: Effekter af direkte metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af ukrudt i landbrugsafgrøder	20
1.6.1 Baggrund	20
1.6.2 Formål	21
1.6.3 Metode.....	21
1.7 Arbejdspakke 7: Koncept for beslutningsstøttesystem som kan vejlede om integreret ukrudtsbekæmpelse.....	21
1.7.1 Baggrund	21
1.7.2 Formål	21
1.7.3 Metode.....	22
2. Projektets resultater	23
2.1 Sædskiftets betydning for IPM-baseret ukrudtsbekæmpelse	23
2.1.1 Erfaringer fra udenlandske og danske sædskifteforsøg	23
2.1.2 Simuleringer af sædskiftets betydning på forekomsten af vindaks	25
2.1.3 Sædskifteændringers indflydelse på ukrudtsfloraen og behovet for bekæmpelse	27
2.1.4 Konklusioner	29
2.2 Prognosemodel for spirehvide i frø af ukrudtsgræsser	29

2.2.1	Spireevne af høstede frø.....	29
2.2.2	Effekt af stubbearbejdningsstrategier	30
2.2.3	Konklusioner	31
2.3	Betydning af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling	31
2.3.1	Markforsøg	31
2.3.2	Semifieldforsøg	33
2.3.3	Konklusioner	35
2.4	Mellem- og efterafgrøders effekt på ukrudt.....	36
2.4.1	Olieræddike som mellemafgrøde	36
2.4.2	Gul sennep og vinterrug som efterafgrøde.....	36
2.4.3	Markforsøg med ”strip tillage” teknikken	36
2.4.4	Konklusioner	39
2.5	Dynamik i bestanden af tokimbladet ukrudt gennem vækstsæsonen	39
2.5.1	Konklusioner	40
2.6	Effekter af direkte metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af ukrudt i landbrugsafgrøder	42
2.6.1	Mekanisk ukrudtsbekæmpelse	42
2.6.2	Oversigt over bekæmpelseeffekter og deres variabilitet	44
2.6.3	Konklusioner	46
2.7	Koncept for beslutningsstøttesystem som kan vejlede om integreret ukrudtsbekæmpelse.....	46
2.7.1	Modeller i beslutningsstøtte	46
2.7.2	Ukrudtsmodellerne i beslutningsstøtte.....	47
2.7.3	Softwaren i beslutningsstøtte	47
2.7.4	RIM: En E-læringsplatform til integreret ukrudtsbekæmpelse.....	47
2.7.5	Konklusioner	49
3.	Diskussion	50
3.1	IPM princip 1: Forebyggelse	50
3.1.1	Sædskifte	51
3.1.2	Sen såning	51
3.1.3	Afgrødetæthed, afgrødens rumlige fordeling og sortvalg	51
3.1.4	Mellem- og efterafgrøder	52
3.2	IPM princip 2: Monitorering	52
3.2.1	Tidlig monitorering i foråret af tokimbladet ukrudt i vintersæd.....	52
3.2.2	Prognosemodel for spirehvile i frø af ukrudtsgræsser	53
3.3	IPM princip 4: Ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder	53
3.4	Beslutningsstøttesystem til integreret ukrudtsbekæmpelse	54
4.	Konklusion.....	55
5.	Perspektivering.....	57
5.1	Forskningsmæssige perspektiver	57
5.2	Administrative perspektiver	58
	Referencer	59
	Bilag 1 – Delrapport AP1	63
	Bilag 2 – Delrapport AP2	86
	Bilag 3 – Delrapport AP3	92
	Bilag 4 – Delrapport AP4	108
	Bilag 5 – Delrapport AP5	126
	Bilag 6 – Delrapport AP6	132
	Bilag 7 – Delrapport AP7.....	142

Forord

Projektet ”Integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder” er finansieret af Miljøstyrelsens Pesticidforskningsprogram. Projektet er udført ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, Nordic Beet Research og Videncentret for Landbrug.

Projektet var et af flere projekter under projektporteføljen ”Landbrug & Pesticider”. Vi vil gerne takke følgegruppens medlemmer for deres engagement og mange konstruktive input igennem projektperioden, og specielt vil vi takke Ilse Rasmussen, ICROFT, Niels Lindemark, Dansk Planteværn, Marianne Bruus og Henrik Skovgaard, Aarhus Universitet samt Henrik Brødsgaard og Lise Samsøe Pedersen, Miljøstyrelsen for skriftlige kommentarer til en tidligere udgave af nærværende rapport.

Per Kudsk, Solvejg Kopp Mathiassen, Bo Melander, Peter Kryger Jensen, Niels Holst, Otto Nielsen og Poul Henning Petersen

Sammendrag

I november 2009 blev EUs Tematiske Strategi om Bæredygtig Anvendelse af Pesticider vedtaget af EU's Ministerråd. Det overordnede mål er at beskytte menneskers sundhed og miljøet via en bæredygtig anvendelse af pesticider samt en mere restriktiv godkendelsesordning. En mere bæredygtig anvendelse skal blandt andet opnås ved, at jordbrugerne skal implementere integreret plantebeskyttelse (IPM). Kort fortalt forudsætter IPM, at problemerne med skadegørere skal begrænses via 1) sædskifte og hensigtsmæssige dyrkningsmetoder, 2) skadegørernes udvikling samt 3) behovet for bekæmpelse skal vurderes ved hjælp af tilgængelige monitoringsværktøjer og skadetærskler, og ikke-kemiske metoder skal vælges frem for kemiske metoder, hvis de er tilstrækkeligt effektive. Såfremt der anvendes pesticider, skal der anvendes midler med minimal effekt på non-target organismer, doseringerne og antallet af sprøjtninger skal minimeres, og risikoen for udvikling af herbicidresistens skal minimeres. Endelig skal der følges op i marken for at vurdere, om den anvendte strategi har virket.

Integreret ukrudtsbekæmpelse er et delelement af integreret plantebeskyttelse, hvor fokus er bekæmpelse af ukrudt. I forhold til integreret bekæmpelse af sygdomme og skadedyr er der meget få eksempler på succeshistorier om integreret ukrudtsbekæmpelse. En succesfuld implementering af integreret ukrudtsbekæmpelse forudsætter blandt andet, at der er viden til rådighed om forebyggende og ikke-kemiske metoders effekter. Formålet med projektet "Integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder" var at tilvejebringe denne viden og vurdere mulighederne for at reducere forbruget og afhængigheden af herbicider til bekæmpelse af ukrudt i de arealmæssigt store landbrugsafgrøder. Projektet bestod af i alt 7 arbejdsopgaver. I de 6 af arbejdsopgaverne var formålet 1) at sammenfatte og genanalysere eksisterende viden eller, hvor det var nødvendigt, at tilvejebringe ny viden om ikke-kemiske tiltag samt 2) at kvantificere effekten af de ikke-kemiske tiltag med henblik på at vurdere hvilke tiltag, der kan være af interesse i praksis. For at sikre at praksis kan udnytte denne viden, er det nødvendigt at udvikle et simpelt beslutningsstøttesystem, som kan vejlede om valg af metoder, forventet effekt og eventuel opfølgning. At udvikle et beslutningsstøttesystem for integreret ukrudtsbekæmpelse er et projekt i sig selv, men i arbejdsopgave 7 blev der med udgangspunkt i resultaterne fra arbejdsopgaverne 1 til 6 beskrevet et koncept for et sådant beslutningsstøttesystem.

I denne synteserapport er baggrunden, formålet, metoderne, resultaterne og konklusionerne fra de 7 arbejdsopgaver sammenfattet, og med udgangspunkt i disse rapporter er mulighederne for at implementere integrerede ukrudtsbekæmpelsesmetoder vurderet.

En øget andel af vårafgrøder eller eventuelt mere konkurrencedygtige vintersædsarter som vinterrug, kulturtekniske tiltag som valg af konkurrencesterke sorter, øget udsædsmængde og i meget ukrudtsbefængte vintersædsmarker sen såning samt radrensning i rækkesåede afgrøder inklusive vinterraps, som i dag ikke dyrkes som en rækkeafgrøde, er de tiltag, som umiddelbart kan implementeres. Endvidere synes der at være gode muligheder for at udvikle værktøjer, som på baggrund af monitoringer i det tidlige forår kan vurdere behovet for en ukrudtsbekæmpelse i foråret i vintersæd. Derimod synes effekten af mellem- og efterafgrøder på ukrudtets spiring og vækst at være minimal, ligesom det på nuværende tidspunkt ikke vurderes muligt at rådgive om den mest hensigtsmæssige stubbearbejdning efter høst af vintersæd med udgangspunkt i klimaforholdene i frøenes modningsperiode. Et beslutningsstøttesystem til integreret ukrudtsbekæmpelse vil skulle være fundamentalt forskelligt fra f.eks. Planteværn Online, da det bl.a. skal kunne håndtere effekter af sædskiftet og andre kulturtekniske tiltag på ukrudtsfloraens sammensætning. Det vurderes, at

det australske RIM beslutningsstøttesystem, som kun har fokus på en enkelt ukrudtsart, vil kunne være et godt afsæt for et dansk beslutningsstøttesystem om integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrødesædskifter.

Projektet har vist, at alternative ukrudtsbekæmpelsesmetoder som regel er mindre effektive end herbicider, og at det derfor er nødvendigt at kombinere flere alternative metoder eller at kombinere alternative metoder med en reduceret indsats af herbicider for at opnå tilfredsstillende bekæmpelseeffekter. Fremtidige udviklings- og forskningsprojekter bør derfor fokusere på kombinationer af metoder snarere end at studere metoderne enkeltvis.

Summary

In November 2009 the EU's Thematic Strategy on the Sustainable Use of Pesticides was adopted by the Council of the EU. The overall objective is to protect human health and the environment through a sustainable use of pesticides and a more restrictive authorisation system. One of several initiatives to achieve a more sustainable use is that farmers must implement integrated pest management (IPM). In short, IPM implies that pest problems must be limited through 1) crop rotation and appropriate methods of cultivation, 2) pest development and 3) the need for control must be assessed by means of available monitoring tools and damage thresholds, and non-chemical methods must take precedence over chemical methods if they are sufficiently effective. If pesticides are to be used, they should be the ones with a minimum effect on non-target organisms, the dose rates and the number of applications must be minimised and the risk of developing herbicide resistance must be minimised. Finally, a follow-up in the field is necessary in order to assess whether the applied strategy worked.

Integrated weed management (IWM) is a constituent element of integrated pest management, focusing on the control of weeds. In comparison with integrated control of diseases and pests there are very few successful examples of IWM. A successful implementation of IWM has as one of its prerequisites that knowledge about the effects of preventive and non-chemical methods is available. The objective of the project "Integrated weed control in agricultural crops" was to provide this knowledge and to assess the possibilities of reducing the consumption and dependence on herbicides for control of weeds in large agricultural crops, viewed in terms of area. The project consisted of a total of 7 work packages. In 6 of the work packages the objective was 1) to summarise and re-analyse existing knowledge or, where necessary, to provide new knowledge about non-chemical measures and 2) to quantify the effect of the non-chemical measures with regard to assessing which measures might be of interest in practice. In order to ensure that this knowledge can be used in practice, it is necessary to develop a simple decision support system which can provide guidance on the choice of methods, expected effects and follow-ups, if any. Developing a decision support system for integrated weed control is a project in itself, but a concept for such a decision support system was described in work package 7 based on the results of work packages 1 to 6.

In this synthesis report the background, objective, methods, results and conclusions of the 7 work packages have been summarised, and based on these reports the possibilities of implementing integrated weed control methods have been assessed.

A higher frequency of spring crops or more competitive winter crop species such as winter rye, cultural control methods such as the competitive cultivars, higher seeding rates delayed sowing in highly weed-infested winter cereal crops, and interrow cultivation in row crops, including winter oilseed rape, which today is not grown as a row crop, are the IWM measures that can be implemented at once. Furthermore, there seem to be good possibilities of developing tools which on the basis of monitoring in early spring can assess the need for weed control in the spring in winter crops. On the other hand, the effect of catch crops on weed germination and growth seems to be minimal, just as it is not possible at present, based on the climatic conditions during the ripening period of the seeds, to give advice on the most appropriate stubble treatment after harvesting winter crops. A decision support system for integrated weed control will have to be fundamentally different from for example Crop Protection Online as – among other things – it must be able to handle effects of the crop rotation and other cultural measures on the composition of the weed flora. We

conclude that the Australian RIM decision support system, which only focuses on a single weed species, may be a good starting point for a Danish decision support system on integrated weed control in crop rotations in agricultural crops.

This project has shown that alternative weed control methods usually are less effective than herbicides and that it therefore is necessary to combine several alternative methods or to combine alternative methods with a reduced application of herbicides in order to achieve satisfactory control effects. Future development and research projects must therefore focus on combinations of methods rather than on studying these methods individually.

Introduktion

I november 2009 blev EUs Tematiske Strategi om Bæredygtig Anvendelse af Pesticider vedtaget af EUs Ministerråd. Det overordnede mål er at beskytte menneskers sundhed og miljøet via en bæredygtig anvendelse af pesticider samt en mere restriktiv godkendelsesordning. Sidstnævnte skal opnås ved hjælp af Forordning 1107/2009, som i juni 2013 erstattede Direktiv 914/94, hvor flere af kravene til pesticiders toksikologiske og økotoxikologiske profil er skærpet. Kravet om en mere bæredygtig anvendelse af pesticider forventes tilvejebragt ved, at jordbrugerne pr. 1. januar 2014 har adopteret IPM principperne, som er beskrevet i Bilag 3 i Direktiv 2009/128/EF (se boks). Kort fortalt forudsætter IPM, at problemerne med skadegørere skal begrænses via 1) sædskifte og hensigtsmæssige dyrkningsmetoder, 2) skadegørernes udvikling samt 3) behovet for bekæmpelse skal vurderes ved hjælp af tilgængelige monitoringsværktøjer og skadetærskler, og ikke-kemiske metoder skal vælges frem for kemiske metoder, hvis de er tilstrækkeligt effektive. Såfremt der anvendes pesticider, skal der anvendes midler med minimal effekt på non-target organismer, doseringerne og antallet af sprøjtninger skal minimeres, og risikoen for udvikling af herbicidresistens skal minimeres. Endelig skal der følges op i marken for at vurdere, om den anvendte strategi har virket.

I spiselige afgrøder som grønsager og frugt er der en mangeårig tradition for integreret dyrkning og IPM, men det er ikke tilfældet for de arealmæssigt store landbrugsafgrøder såsom korn, majs og raps. En forudsætning for, at målet om en mere bæredygtig anvendelse af pesticider kan opfyldes i Danmark, er, at IPM også kommer til at omfatte disse landbrugsafgrøder, hvor størstedelen af pesticiderne anvendes. I denne sammenhæng er integreret ukrudtsbekæmpelse et vigtigt delelement, da herbiciderne målt som behandlingshyppighed udgør ca. 60% af det samlede pesticidforbrug i de store landbrugsafgrøder. Med et forventet mindre udbud af herbicider i de kommende år som følge af den nye forordning for markedsføring af pesticider (Rådets Forordning (EF) Nr. 1107/2009), som er et af de andre 4 elementer i EUs tematiske strategi om bæredygtig anvendelse af pesticider, samt stigende problemer med herbicidresistens, er integreret ukrudtsbekæmpelse også set fra en praktisk synsvinkel den eneste bæredygtige strategi på langt sigt.

Som led i EUs tematiske strategi har alle medlemslande skulle udarbejde en National Aktionsplan, som kortlægger, hvordan man vil nå målene i strategien. Miljøstyrelsen og Fødevarerministeriet publicerede i 2013 "Beskyt vand, natur og sundhed – sprøjttemiddelstrategi 2013-2015", som er den danske regerings aktionsplan

([mst.dk/media/mst/69654/MST_spr%C3%B8jtemiddelstrategi_21032013%20\(2\).pdf](http://mst.dk/media/mst/69654/MST_spr%C3%B8jtemiddelstrategi_21032013%20(2).pdf)). I aktionsplanen er listet en lang række tiltag, som skal mindske belastningen af pesticidanvendelsen herunder implementeringen af IPM. Kort før aktionsplanen blev publiceret, blev der som led i den forrige pesticidplan "Grøn Vækst" udviklet en Pesticid Belastnings Indikator (PBI) (www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2012/01/978-87-92779-75-5.pdf) som afløsning/supplement til behandlingshyppigheden, som siden 1980'erne har været anvendt som mål for pesticidanvendelsen i Danmark. I modsætning til behandlingshyppigheden, hvor kun doseringen er afgørende for bidraget til den samlede behandlingshyppighed, så vil valg af pesticid kunne have en effekt på pesticidbelastningen (PB), da beregningen af PB er baseret på pesticidernes iboende egenskaber. Forbruget af insekticider men også af enkelte herbicider vil have en større indflydelse på pesticidbelastningen, end det har på behandlingshyppigheden.

Som eneste land i EU har Danmark sat kvantitative mål for reduktionen i pesticidbelastningen, idet målsætningen er en reduktion i PBI på 40 % i 2015 i forhold til 2011-niveauet.

Generelle principper for integreret bekæmpelse af skadegørere

1. Forebyggelse og/eller udryddelse af skadegørere bør foregå eller støttes ved hjælp af flere metoder, navnlig:
 - sædskifte
 - anvendelse af hensigtsmæssige dyrkningsmetoder (f.eks. falsk såbedsteknik, såtidspunkt og -tæthed, undersåning, pløjefri dyrkning, beskæring og direkte såning)
 - anvendelse af resistente/tolerante sorter og standardfrø/certificeret frø og plantemateriale, når det er relevant
 - brug af afbalanceret gødskning, kalkning og vandings-/afvandingsmetoder
 - forebyggelse af spredning af skadegørere ved hjælp af hygiejne (f.eks. ved jævnlig rensning af maskiner og udstyr)
 - beskyttelse og forøgelse af vigtige nytteorganismer, f.eks. gennem hensigtsmæssige plantebeskyttelsestiltag eller brug af økologiske infrastrukturer i og uden for produktionssteder.
2. Skadegørere skal overvåges med passende metoder og værktøjer, når det er muligt. Sådanne værktøjer bør også omfatte observationer i marken samt videnskabeligt plausible varslings-, prognose- og tidlig diagnosticeringsordninger, når det kan lade sig gøre, samt rådgivning ved professionelt kvalificerede rådgivere.
3. Den professionelle bruger skal ud fra resultaterne af overvågningen beslutte, om og hvornår plantebeskyttelsestiltagene skal anvendes. Solide og videnskabeligt plausible grænseværdier er væsentlige elementer i beslutningstagningen. Der tages inden behandling hensyn til grænseværdier, der er fastlagt for skadegørere regionalt og for specifikke områder og afgrøder og særlige klimatiske forhold, når det er muligt.
4. Bæredygtige biologiske, fysiske og andre ikke-kemiske metoder skal foretrækkes for kemiske metoder, hvis de er tilstrækkeligt effektive
5. De anvendte pesticider skal være tilpasset det tilstræbte mål så specifikt som muligt og have færrest mulige bivirkninger for menneskers sundhed, ikke-målorganismer og miljøet.
6. Den professionelle bruger bør anvende pesticider og andre former for indgreb i de mængder, der er nødvendige, det vil sige nedsatte doseringer, mindre hyppig udbringning eller delvise udbringninger for at sikre, at risikoniveauet i vegetationen er acceptabelt, og risikoen for udvikling af resistens i skadegørerpopulationen ikke øges.
7. Hvis risikoen for resistens mod et plantebeskyttelsestiltag er kendt, og mængden af skadegørere kræver gentagen udbringning af pesticider på afgrøderne, bør tilgængelige antiresistensstrategier bringes i anvendelse for at bevare produkternes effektivitet. Dette kan omfatte anvendelse af forskellige pesticider med forskellig virkemåde.
8. Den professionelle bruger bør med udgangspunkt i registrene om anvendelse af pesticider og overvågningen af skadegørere kontrollere, at de benyttede plantebeskyttelsestiltag har virket.

I litteraturen findes der et utal af definitioner på IPM. I Direktiv 2009/128/EF har EU givet deres egen definition:

- »integreret bekæmpelse af skadegørere«: nøje gennemgang af alle til rådighed stående plantebeskyttelsesmetoder og integreret iværksættelse på dette grundlag af passende foranstaltninger, der bidrager til at hindre skadegørere i at udvikle sig, og som holder brugen af plantebeskyttelsesmidler og andre interventionsmidler på et økonomisk og økologisk forsvarligt niveau samtidig med, at de reducerer eller minimerer risikoen for menneskers sundhed og miljøet. Med »integreret bekæmpelse af skadegørere« lægges der vægt på dyrkning af sunde afgrøder med så få forstyrrelser af landbrugsøkosystemerne som muligt samt fremme af naturlige mekanismer til bekæmpelse af skadegørere.

En anden definition, som understreger det dynamiske aspekt i IPM, fokuserer på afhængighed af pesticider snarere end forbrug. Det er den definition, som blev udviklet i forbindelse med EU projektet ENDURE:

- IPM is a sustainable approach to managing pests by combining biological, cultural and chemical tools in a way that minimises economic, environmental and health risks. ENDURE sees IPM as a **continuously improving process** in which **innovative solutions are integrated** and **locally adapted** as they emerge and contribute to **reducing reliance on pesticides** in agricultural systems.

Integreret ukrudtsbekæmpelse er et delelement af integreret plantebeskyttelse, hvor fokus er bekæmpelse af ukrudt. I forhold til integreret bekæmpelse af sygdomme og skadedyr er der meget få eksempler på succeshistorier om integreret ukrudtsbekæmpelse. Det kan sandsynligvis tilskrives flere forhold, bl.a. at integreret ukrudtsbekæmpelse ofte kræver mere omfattende ændringer i dyrkningspraksis end integreret sygdoms- og skadedyrsbekæmpelse, fordi forekomsten af ukrudt er tæt knyttet til afgrødevalg og sædskifte. En anden årsag er, at man indenfor ukrudtsforskningen ikke har haft fokus på integreret bekæmpelse på samme måde, som tilfældet har været især indenfor skadedyr. Harker & O'Donovan (2013) søgte på nøgleordene "weed control" og "integrated weed management" og fandt for perioden 1995-2011 henholdsvis ca. 10.000 og ca. 700 referencer og konkluderede, at hovedparten af den videnskabelige litteratur beskæftiger sig med ukrudtsbekæmpelse med en metode, hvilket i de fleste tilfælde er herbicider, mens der er meget få publikationer, hvor flere metoder kombineres, hvilket er udgangspunktet for integreret ukrudtsbekæmpelse.

I modsætning til f.eks. plantesygdomme, hvor dyrkning af resistente sorter kan være en lige så effektiv foranstaltning som behandling med de mest effektive fungicider, så findes der i praksis ingen alternative ukrudtsbekæmpelsesmetoder, som alene kan erstatte herbicider. I et nyligt afsluttet litteraturstudie i Storbritannien fandt man gennemsnitlige effekter fra 22 til 88% af forebyggende og ikke-kemiske tiltag overfor ager-rævehale (*Alopecurus myosuroides*), som er det dominerende ukrudtsproblem i vinterhvede i store dele af Europa (Lutman *et al.*, 2013). Et varieret sædskifte med flere vårafgrøder i rotationen var det mest effektive ikke-kemiske tiltag, mens ukrudtsharvning havde ringe effekt på ager-rævehale. Sædskifte var også det ikke-kemiske tiltag, som gav den mest sikre effekt (78 til 96% effekt), mens f.eks. effekten af en øget udsædsmængde, som i gennemsnit var 26%, varierede fra 7 til 63%. Undersøgelsen underbygger konklusionerne fra tidligere erfaringer, at alternative metoder sjældent kan stå alene.

Liebman & Gallandt (1997) har beskrevet integreret ukrudtsbekæmpelse som "the use of many little hammers". Skal anvendelsen og afhængigheden af herbiciderne mindskes, er det nødvendigt at anvende flere metoder i kombination. Integreret ukrudtsbekæmpelse er derfor mere videnbaseret, end en strategi baseret udelukkende på anvendelse af herbicider (Swanton *et al.*, 2008). Med herbicider kan der opnås stort set samme effekt hvert år. Det er ikke tilfældet med de alternative

metoder. Effekten af forebyggende metoder som falsk såbed, ændret såtidspunkt og udsædsmængde afhænger af klima, afgrødeetablering etc. Tilsvarende er effekten af mekanisk ukrudtsbekæmpelse meget afhængig af jordfugtigheden. I praksis betyder det, at ukrudtsbekæmpelsesstrategien løbende vil skulle tilpasses afhængigt af effekten af tidligere tiltag. Integreret ukrudtsbekæmpelse er derfor i langt højere grad end kemisk bekæmpelse en iterativ proces, hvor man med udgangspunkt i en viden om de forskellige tiltags forventede effekt og prædefinerede beslutningsalgoritmer løbende justerer strategien.

En af hjørnestenene i integreret plantebeskyttelse er at anvende forskellige metoder med henblik på bl.a. at forebygge selektion i populationen af skadegørere og udvikling af pesticidresistens. Formålet med dette projekt var at tilvejebringe viden om den forventede effekt af en række forebyggende og ikke-kemiske tiltag, som ville kunne anvendes i landbrugsafgrøder, samt beskrive et koncept for et beslutningsstøttesystem, som kan anvendes strategisk ved planlægning af strategien samt taktisk til at underbygge de konkrete valg i driftssituationen.

Der er meget få danske erfaringer med integreret ukrudtsbekæmpelse i de store landbrugsafgrøder. Det kan sandsynligvis tilskrives det forholdsvis store udvalg af herbicider, som indtil videre har gjort det muligt at løse de fleste problemer inklusive herbicidresistens med kemiske metoder. Erfaringer fra udlandet har vist, at interessen for integreret ukrudtsbekæmpelse stiger markant, når herbicidresistens gør det vanskeligt at basere ukrudtsbekæmpelsen udelukkende på herbicider (Llewellyn *et al.*, 2007). I modsætning til landbrugsafgrøderne er der nogen erfaring med integreret ukrudtsbekæmpelse i små afgrøder som f.eks. grøntsagskulturer. Det skyldes, at en stor del af produktionen dyrkes under et IP (Integreret Produktion) koncept, samt at udbuddet af herbicider i disse kulturer er meget begrænset.

Formålet med dette projekt var at tilvejebringe viden, som kan bidrage til implementeringen af integreret ukrudtsbekæmpelse i de større landbrugsafgrøder. Projektet sammenfatter og/eller genererer ny viden om:

- Sædskiftets betydning for ukrudtsfloraens udvikling og sammensætning
- Ukrudtsgræsser spirehvile
- Effekten af såtidspunkt, afgrødetæthed og afgrødens rumlige fordeling på de vigtigste ukrudtsarters vækst og udvikling
- Udnyttelse af mellem- og efterafgrøders hæmmende effekter på ukrudtet
- Skadetærskler og monitoringsmetoder for ukrudt i vintersæd om foråret
- Ikke-kemiske bekæmpelsesmetoders effekt overfor de vigtigste ukrudtsarter.

Endvidere er der med udgangspunkt i projektets resultater foreslået et koncept for et simpelt beslutningsstøtteværktøj, som kan anvendes af rådgivere og jordbrugere i forbindelse med planlægningen af en strategi for integreret ukrudtsbekæmpelse.

1. Projektets indhold

En succesfuld implementering af integreret plantebeskyttelse forudsætter, at der er viden til rådighed om forebyggende og ikke-kemiske metoders effekter. Projektet bestod af i alt 7 arbejdsopgaver. I de 6 af arbejdsopgaverne var formålet 1) at sammenfatte og genanalysere eksisterende viden, eller hvor det var nødvendigt, at tilvejebringe ny viden om ikke-kemiske tiltag samt 2) at kvantificere effekten af de ikke-kemiske tiltag med henblik på at vurdere hvilke tiltag, der kan være af interesse i praksis. For at sikre at praksis kan udnytte denne viden, er det nødvendigt at udvikle et simpelt beslutningsstøttesystem, som kan vejlede om valg af metoder, forventet effekt og eventuel opfølgning. At udvikle et beslutningsstøttesystem for integreret ukrudtsbekæmpelse er et projekt i sig selv, men i arbejdsopgave 7 blev der med udgangspunkt i resultaterne fra arbejdsopgaverne 1 til 6 beskrevet et koncept for et sådant beslutningsstøttesystem.

I det følgende er der givet en kort beskrivelse af aktiviteterne i de enkelte arbejdsopgaver. Yderligere information om materialer og metoder og ”state of the art” kan findes i de 7 bilag.

1.1 Arbejdsopgave 1: Sædskiftets betydning for IPM-baseret ukrudtsbekæmpelse

1.1.1 Baggrund

Et sædskifte betyder, at afgrøderne dyrkes i en bestemt rækkefølge, men i virkeligheden er det mere retvisende for situationen i praksis at tale om en afgrøderækkefølge. En analyse af afgrødevalget i en 4-årig periode på 110.000 marker viste således, at der blev fundet ikke færre end 29.000 forskellige afgrøderækkefølger, af hvilke kun 33% optrådte mere end én gang. Den hyppigst forekommende afgrøderækkefølge optrådte kun i 3,6% af tilfældene, og blev analysen udvidet til en 6-årig periode faldt den hyppigst forekommende afgrøderækkefølge til 2,7%. Der er således tale om et meget dynamisk valg af afgrøder i praksis, som primært er styret af afgrødepriserne, behovet for foder, den gældende landbrugspolitik med hensyn til støtteordninger og i mindre grad af agronomiske årsager såsom forebyggelse af problemer med skadegørere, jordstruktur etc. Populært sagt forsøges det i praksis at presse så mange økonomisk indbringende afgrøder ind i afgrøderækkefølgen som muligt. For nemheds skyld vil ordet sædskifte blive anvendt i denne rapport.

1.1.2 Formål

Formålet med arbejdsopgaven var at genanalysere og sammenstille eksisterende viden med henblik på at kvantificere effekten af sædskiftet på ukrudtsfloraens sammensætning.

1.1.3 Metode

Første trin i arbejdsopgaven var en sammenstilling af resultater fra både publicerede og ikke-publicerede sædskiftforsøg i Danmark samt i nabolande, hvor klima- og dyrkningsforholdene er sammenlignelige med de danske (Storbritannien, Nordfrankrig, Tyskland og Sverige). Fokus for denne aktivitet var at vurdere sædskiftets betydning for udviklingen i ukrudtspopulationerne. Herefter er der foretaget en vurdering af, hvilke ukrudtsproblemer, der er knyttet til nogle af de mest udbredte sædskifter i praksis herunder også betydningen af jordbearbejdningsteknikken. Med udgangspunkt i en tidligere publiceret populationsdynamisk model for vindaks (*Apera spica-venti*) (Melander, 1993) samt parameterværdier for udbyttetab (Melander 1995; Melander *et al.*, 2008) er der udført en række simuleringer af sædskiftets betydning på bestanden af vindaks og

udbyttestab. I analysen er der taget udgangspunkt i to forskellige 6-årige sædskifteforløb A) vinterhvede – vinterhvede – vinterbyg – vinterraps – vinterhvede – vinterhvede og B) vinterhvede – vinterhvede – vårbyg – vårbyg – vinterbyg – vinterraps.

En sidste aktivitet i arbejdsplanen var en vurdering af mulighederne for at nedbringe pesticidforbruget ved at øge andelen af vårafgrøder og flerårige afgrøder i sædskifter med stor andel af vintersæd og vinterraps. Denne aktivitet er et resultat fra EU projektet ENDURE, hvor et ekspertpanel bestående af både forskere og rådgivere vurderede mulighederne for at reducere pesticidforbruget. Udgangspunktet er et typisk sædskifte på et svinebrug.

1.2 Arbejdsplan 2: Prognosemodel for spirehvile i frø af ukrudtsgræsser

1.2.1 Baggrund

Efter høst af landbrugsafgrøder vil de frø fra ukrudtsplanter i afgrøden være placeret på jordoverfladen, eventuelt delvist dækket af afgrøderester. For ukrudtsarter, der har frø med relativ kort levedygtighed i jord såsom mange af de mest tabsvoldende ukrudtsgræsser, udgør disse frø i normale år en væsentlig andel af den samlede frøbank. Mange hejrearter (*Bromus sp.*) har frø med meget begrænset levedygtighed i jord og er helt afhængige af det årlige frøkast for at vedligeholde en bestand på arealet, mens andelen af frø af arter som vindaks, ager-rævehale og væselhale (*Vulpia sp.*), som overlever i jorden, er lidt større.

Tidligere undersøgelser har vist, at maksimal ødelæggelse af årets frøkast opnås, når frøene efterlades urørt på jorden længst muligt efter høst (Jensen, 2009; Jensen, 2010; Melander *et al.*, 2013). Tidlig og specielt dyb jordbearbejdning i form af stubharvning eller pløjning kort efter høst virker derimod konserverende på disse arters frø.

I en nyere undersøgelse i Storbritannien har man undersøgt om denne generelle anbefaling af dyrkningsteknik kan forfines, hvis den tilpasses det enkelte års klimatiske forhold (Cook *et al.*, 2006). Baggrunden er, at omfanget af primær spirehvile i frø for de fleste arter er tæt korreleret med vejrforholdene primært temperaturen i den sidste del af modningsperioden, det vil sige i år med en lavere primær spirehvile i frøene end normalt, ville det være en fordel at foretage en overfladisk stubbearbejdning straks efter høst for at stimulere frøene til spiring. I den engelske undersøgelse, som kun omfattede ager-rævehale, fandt man, at specielt temperaturforholdene i de sidste 14 dage af modningsperioden havde en væsentlig indflydelse på graden af primær spirehvile. I forhold til normale temperaturforhold blev graden af primær spirehvile mere udbredt ved lavere temperatur, mens den aftog ved højere end normale temperaturforhold. Ved afprøvning af hypotesen om, at stubbearbejdning kunne forøge omsætningen af frø med begrænset primær spirehvile, var udslagene imidlertid usikre.

1.2.2 Formål

Formålet med denne arbejdsplan var at undersøge, 1) hvordan typiske danske temperaturforhold influerer på graden af primær spirehvile hos ager-rævehale, vindaks og væselhale, og 2) om graden af primær spirehvile har betydning for hvilken stubbearbejdningsstrategi, der mest effektivt reducerer mængden af frø forud for den efterfølgende afgrøde på arealet.

1.2.3 Metode

Planter af ager-rævehale, vindaks og væselhale blev etableret i pletter ultimo september 2010 og placeret udendørs for at sikre kuldepåvirkning af planterne. I juli 2011 blev planter i modningsperioden placeret ved 3 klimascenarier, et køligt, et normalt samt et varmt. Ved det normale klima blev der anvendt en nattemperatur på 12 °C, dagtemperatur på 20 °C og et døgn gennemsnit på 16 °C, hvilket er tæt på klimanormalen for Danmark i juli måned. Ved det kolde

og det varme klima var såvel minimum-, maksimum- og gennemsnitstemperaturen sænket/hævet 5 °C i forhold til normalklimaet. Temperaturforløb blev varieret med en døgnrytme på 12 timers nat og 12 timers dag, mens der blev anvendt 16 timers lys og 8 timers mørke. Efter 4 uger i klimakamrene blev der høstet frø ved forsigtigt at ryste modne frø af planterne. Frøene blev oprenset, så størrelsen på frøene af hver art var indenfor den normale tusindkornsvægt for at sikre, at frøene var levedygtige.

Umiddelbart efter høst og igen senere på efteråret blev spireevnen af frøene undersøgt. Herefter blev det undersøgt, om stubbearbejdningsstrategien kan tilpasses klimaforholdene i modningsperioden. Frøprøver fra de 3 arter x 3 klimascenarier blev udsat for simulerede stubbearbejdningsstrategier under markforhold. Frøprøver med kendt antal frø blev placeret i marken i begyndelsen af august enten på jordoverfladen uden og med halmdækning (simulerer ingen stubbearbejdning) eller i netposer i 2 cm's dybde (simulerer stubbearbejdning). For at kunne genfinde frøene på jordoverfladen blev de placeret i 2 L pletter (4 gentagelser á 100 frø). Pletterne blev nedgravet i marken, således at ca. 1 cm af potten stikker op. Frøprøverne, der blev placeret i 2 cm's dybde, blev lagt i netposer sammen med steriliseret jord. Medio september, som er et typisk tidspunkt for såning af vintersæd, blev prøverne taget ind til spireanalyse. Prøverne blev lagt i spireskåle i en maksimal tykkelse på 1 cm og placeret på et spirebord, hvor fremspiringen blev registreret. Når der ikke spirede yderligere planter frem fulgtes eventuelt op med udtørring/behandling med gibberellin (plantehormon som inducerer spiring) og en ny spiretest for at provokere spiring af frø i eventuel spirehvile. Forsøget blev gentaget i 2012/2013.

1.3 Arbejdspakke 3: Betydning af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling

1.3.1 Baggrund

Tidligere undersøgelser har vist, at såtidspunkt og udsædsmængde påvirker kornafgrøders konkurrenceevne overfor ukrudtet (Mohler, 2001; Olsen & Weiner, 2007; Melander, 1995; Christensen & Rasmussen, 1994; Lemerle *et al.*, 2004; Hashem *et al.*, 1998). Nyere forsøg har vist, at også afgrødens rumlige fordeling påvirker ukrudtets vækst (Kristensen *et al.*, 2008; Olsen *et al.*, 2005; Medd. *et al.*, 1985; Boyd *et al.*, 2009). Afgrødestruktur påvirker således ukrudtstrykket i marken, og faktorer som såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling kan derfor inddrages som led i en integreret ukrudtsbekæmpelse med henblik på at optimere afgrødens konkurrenceevne. Der er behov for at kvantificere effekten af disse tiltag anvendt hver for sig men ikke mindst i kombination med henblik på at vurdere deres effekt i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi.

1.3.2 Formål

Formålet med arbejdspakken var at kvantificere effekten af sen såning, øget udsædsmængde, bedre rumlig fordeling af afgrødeplanterne og dyrkning af konkurrencedygtige sorter anvendt alene eller i kombination på ukrudtets vækst i vinterhvede.

1.3.3 Metode

Markforsøg

Forsøg blev udført i 2010/2011 og gentaget i 2011/2012. Hvert forsøg blev anlagt som et fuldstændigt randomiseret blokforsøg med 4 gentagelser og en parcellstørrelse på 25 m². Såteknikken omfattede to niveauer: etablering på rækker med en almindelig radsåmaskine (12 cm rækkeafstand) og en mere diffus rækkestruktur, som blev opnået ved at anvende det såkaldte Horsch system, som sår afgrøden i en bred vifte frem for i en række. Med den almindelige radsåmaskine blev jordbehandling udført med en rotorharve umiddelbart før såning, mens parcellerne med Horsch systemet blev stubharvet 3 gange forud for første såning. Såning blev udført den 23. september og 14. oktober i 2011 samt 27. september og 14. oktober i 2012.

Udsædsmængden omfattede 3 niveauer med tilstræbte plantetal på henholdsvis 200, 400 og 800 planter m^{-2} . For at sikre en tilstrækkelig respons fra græsukrudt blev der umiddelbart efter såning af vinterhveden udsået 200 g ha^{-1} vindaksfrø i den ene halvdel af parcellerne, mens den anden halvdel blev friholdt for græsukrudt med henblik på at kunne fastlægge afgrødens respons på forsøgsfaktorerne uden indflydelse fra græsukrudtet.

Antallet af fremspirede hvedeplanter blev optalt i oktober og november. I perioden april-juni blev biomassen målt 7 gange i alle parceller i alle parceller. I begyndelsen af maj blev tokimbladet ukrudt bekæmpet kemisk. I 2012 blev der observeret en meget stor bestand af ager-rævehale på forsøgsarealet, hvilket var lidt overraskende i forhold til bestandens beskedne størrelse i 2011. I den del af forsøget, hvor der ikke var udsået vindaks, blev ager-rævehale bekæmpet kemisk. Gennem begge vækstsæsoner er der indsamlet data for forekomsten af både ager-rævehale og vindaks. Der er målt tørstof af hvede og ager-rævehale i juni 2011 og hvede og ager-rævehale + vindaks i juni 2012, og antallet af frøbærende vindakstoppe er talt i juli i begge år. Afgrøden blev høstet medio-ultimo august. Kerneudbyttet og 1000-kornsvægten blev bestemt.

Semifieldforsøg

Betydning af sortsvalg, såteknik, udsædsmængde og ukrudtstæthed for konkurrenceforhold mellem vinterhvede og vindaks og storkronet ærenpris (*Veronica persica*) blev undersøgt i semifieldforsøg under kontrollerede forhold. Der er udført to forsøg i 2011 (et forsøg med vindaks og et forsøg med storkronet ærenpris) og tre forsøg i 2012 (to forsøg med vindaks og et forsøg med storkronet ærenpris). Forsøgene er udført i polystyrenkasser (40 cm x 40 cm x 15 cm) med blandinger af vinterhvede og ukrudt.

Ud fra fotos fra markforsøget er to forskellige afgrødemønstre for hver udsædsmængde (200, 400 og 800 planter m^{-2}) med Horsch systemet udvalgt og etableret i kasserne (Horsch 1 og 2). Den tredje afgrødestruktur i kasserne består af rækkesåning på 12 cm's afstand – også her med plantetal på 200, 400 og 800 planter m^{-2} . Hver af de 9 kombinationer af afgrødestrukturer (3 afgrødefordelinger x 3 udsædsmængder) er kombineret med to tætheder af ukrudtsarterne (100 og 300 planter m^{-2}), hvor ukrudtsplanterne er fordelt i kasserne efter et fastlagt mønster.

I begge år indgik to forskellige vinterhvedesorter. Skagen er en konkurrencestærk sort med et konkurrenceindeks på 0,74 (jo lavere værdi jo større konkurrenceevne) (www.sortsinfo.dk), mens Sleipner er en gammel sort, som er karakteriseret ved at være meget kortstrået. Der er ikke angivet et konkurrenceindeks for Sleipner, da den var på sortlisten, før man begyndte at registrere konkurrenceindeks. Ud fra strå længden anslås konkurrenceindekset at ligge på ca. 1,25. Ved etablering af kasserne blev vinterhvede sået direkte i kasserne ved at anvende en skabelon, mens vindaks og ærenpris blev sået i spirebakker i væksthuse. Efter fremspiring blev ukrudtsarterne priklet i kasserne efter et fast mønster med henholdsvis 100 og 300 planter m^{-2} . Kasserne var placeret udendørs og blev vandet fra bunden. Forsøgene blev udført med tre gentagelser pr. behandling. Der blev anvendt et blokdesign med sorter og afgrødetætheder som blokke og en fuldstændig randomisering indenfor blokkene.

Ukrudtsplanterne blev høstet tre måneder efter såning. I hver kasse blev de yderste 5 cm af kasserne betragtet som værn og blev ikke høstet. Ved høst blev antallet af ukrudtsplanter pr. kasse samt friskvægt af ukrudtsplanterne målt. Ukrudtsbiomassen blev tørret i en ovn ved 80° C i 18 timer, og tørvægt blev registreret.

1.4 Arbejdspakke 4: Mellem- og efterafgrøders ukrudtseffekt

1.4.1 Baggrund

Efterafgrøder har tiltrukket sig stor opmærksomhed i de senere år, fordi de potentielt kan have mange positive effekter såsom at mindske tabet af næringsstoffer, forebygge jorderosion og mindske problemerne med skadegørere (Sarrantonio & Gallandt, 2003).

Efterafgrøder er afgrøder, som dyrkes i perioden fra høst af en afgrøde til etablering af den næste vårafgrøde. Forud for eller umiddelbart efter etablering af hovedafgrøden afsluttes væksten af efterafgrøden enten ved at anvende herbicider eller ved mekanisk bekæmpelse. Alternativt kan der anvendes en efterafgrøde, som ikke tåler frost, hvorved man kan spare udgiften til herbicider eller mekanisk afslutning af væksten. Hvis efterafgrødens vækst afsluttes inden etablering af hovedafgrøden, kan efterafgrøden enten indarbejdes i jorden eller efterlades på jordoverfladen. I de senere år er der i forbindelse med efterafgrøder dukket et andet begreb op nemlig mellemafgrøder. En mellemafgrøde er en afgrøde, som dyrkes i perioden mellem høst af en afgrøde og såning af en vintersædsafgrøde. En mellemafgrøde er således en efterafgrøde med en meget kort vækstperiode, og kun afgrøder med en meget hurtig vækst er af interesse som mellemafgrøder. I relation til effekten over for ukrudt er det især efterafgrøder af vinterrug og korsblomstfamilien som raps og gul sennep, som har været undersøgt. For mellemafgrøders vedkommende har interessen primært været på olieræddike, som har en meget hurtig vækst i sensommeren. Ukrudtseffekten af vinterrug og planter tilhørende korsblomstfamilien er blevet tilskrevet disse planters indhold af allelokemiske stoffer henholdsvis benzoxazinoider i rug (Schulz *et al.*, 2013) og glucosinolater i korsblomstrede planter (Haramoto & Gallandt, 2004).

1.4.2 Formål

Formålet med denne arbejdspakke var at undersøge effekten af mellem- og efterafgrøder på væksten af ukrudt i den efterfølgende afgrøde. Arbejdshypotese var, at dyrkning af mellemafgrøder forud for såning af vintersæd og en efterafgrøde forud for etablering af en vårafgrøde kan hæmme ukrudtets fremspiring og/eller vækst.

1.4.3 Metode

Olieræddike som mellemafgrøde

Der er udført to forsøg med olieræddike på to forskellige lokaliteter i Flakkebjerg i 2012. Oprindeligt var det planen at udføre et forsøg i henholdsvis 2011 og 2012, men meget sen høst i 2011 umuliggjorde etablering af efter- og mellemafgrøder. Olieræddike blev udsået i en vårbygmark den 18. juli. Vårbyg blev høstet den 12. august. Henholdsvis 15, 31 og 59 dage efter høst blev olieræddiken indarbejdet i jorden med en markfræser. Umiddelbart efter indarbejdningen samt 1 og 2 uger senere blev der udtaget uforstyrrede jordprøver ved at presse rustfri stålør (længde 15 cm, diameter 10 cm) ned i jorden og efterfølgende grave dem fri. Som reference blev der udtaget jordprøver fra et areal på 36 x 4,5 m, som var anlagt parallelt med arealet med olieræddike i en afstand på 2 m. Stålrørene fungerede som potte og blev placeret i et væksthuse. Umiddelbart efter at stålrørene var bragt indendørs, blev der sået frø af 4 ukrudtsarter, som er almindeligt forekommende i vintersæd (enårig rapgræs (*Poa annua*), ager-rævehale (*Alopecurus myosuroides*), storkronet ærenpris (*Veronica persica*), agerstedmoder (*Viola arvensis*)) samt vinterhvede, som repræsenterer afgrøderne. Testplanterne blev høstet 4 til 6 uger efter såning afhængig af udtagningsstidspunktet for jordprøverne. Ved høst blev der bestemt frisk- og tørvægt.

Gul sennep og vinterrug som efterafgrøde

Forsøgene med efterafgrøder blev udført i henholdsvis 2010/2011, 2012/2013 og 2013/2014 ved Nordic Beet Research i Holeby. Gul sennep og vinterrug blev i begge år sået d. 18. august efter vårbyg. I 2010/2011 blev gul sennep udsået med henholdsvis 8 og 20 kg/ha og vinterrug med 80 og 200 kg/ha. I 2012/2013 blev kun den højeste udsædsmængde anvendt. To gange i løbet af efteråret (3. og 30. september i 2010 og 9. september og 23. oktober i 2012) blev der jordbearbejdet i de

striber, hvor der i foråret skulle sås sukkerroer med henblik på indarbejde både efterafgrøden og eventuelle afgrøderester. I begge år blev gul sennep ødelagt af frost, hvorimod vinterrugen overlevede vinteren og blev nedvisnet kemisk med enten glyphosat (før sukkerroernes såning) eller cycloxydim (efter sukkerroernes fremspiring).

Som i forsøget med mellemafgrøde af olieræddike blev der udtaget uforstyrrede jordprøver. Jordprøverne blev udtaget 1, 2 og 4 uger efter nedvisning i 2010/2011 og 1, 2 og 5 uger efter nedvisning i 2012/2013. Hvor der var dødt plantemateriale på jordoverfladen, blev plantemassen fjernet i forbindelse med såningen og bagefter lagt tilbage på jordoverfladen. Som følge af en fejl blev der ikke udtaget jordprøver 1 uge efter anden nedvisning i forsøget udført i 2010/2011. I forsøgene blev følgende testplanter anvendt: enårig rapgræs (*Poa annua*), alm. hanespore (*Echinochloa crus-galli*) (kun i 2010/2011), alm. rajgræs (*Lolium perenne*) (kun 2012/2013), natlimurt (*Silene noctiflora*), sort natskygge (*Solanum nigrum*) (kun 2010/2011) og lugtløs kamille (*Tripleurospermum inodorum*) (kun 2012/2013). Årsagen til at nogle af arterne blev udskiftet med andre i 2012/2013 forsøget var, at der blev observeret lav spireevne af hanespore og sort natskygge i 2010/2011. Resultaterne med alm. hanespore blev af samme årsag udeladt.

Andre forsøg med ”strip tillage” teknikken

I årene 2011 til 2013 er der udført en række markforsøg ved Nordic Beet Research, hvor ”strip tillage” teknikken har været undersøgt i kombination med forskellige kemiske bekæmpelsesstrategier. Disse forsøg er udført som led i et projekt finansieret af GUDP, men da forsøgene er relevante i forhold til de undersøgelser, der er udført i nærværende projekt, er hovedresultaterne vedrørende effekt på ukrudtsbestand, fremspiring af sukkerroer samt udbytte medtaget i denne rapport. Forsøgene er udført, som beskrevet ovenfor.

1.5 Arbejdspakke 5: Dynamik i bestanden af tokimbladet ukrudt gennem vækstsæsonen

1.5.1 Baggrund

I vintersæd er det almindelig praksis at udføre kemisk ukrudtsbekæmpelse om efteråret og supplere med en behandling om foråret. Mens efterårsbekæmpelsen som regel er rentabel, er en del af sprøjtningerne om foråret hverken rentable eller nødvendige for at undgå opformering af ukrudt. Disse sprøjtninger kunne undgås, hvis der var bedre muligheder for at monitorere ukrudtsbestanden forud for behandling. På grund af bl.a. travlhed i foråret er det imidlertid de færreste landmænd, som monitorer for ukrudt forud for ukrudtsprøjtningen. Såfremt det var muligt at vurdere behovet for sprøjtning i perioden forud for en eventuel behandling, ville det give flere muligheder for at monitorere og vurdere behovet for en sprøjtning.

1.5.2 Formål

Formålet med denne arbejdsopgave var at undersøge, om monitorering af tokimbladet ukrudt i vintersæd i det tidlige forår (før vækststart) kan beskrive bekæmpelsesbehovet senere i vækstsæsonen, hvor det er optimalt at bekæmpe ukrudtet.

1.5.3 Metode

Der er i efteråret 2010 og 2011 udvalgt 12 forskellige vintersædsmarker på forskellige jordtyper og lokaliteter. I hver mark blev der afsat 4 sprøjtevinduer (ubehandlede arealer) på 10 x 10 m, det vil sige i alt 48 sprøjtevinduer pr. vækstsæson. I hvert sprøjtevindue er der det følgende forår afsat 4 x 1 m² optællingsfelter, der er anvendt ved optælling af ukrudt ved alle bedømmelser. Fem gange gennem vækstsæsonen fra vinterens afslutning og frem til maj er antal og udviklingstrin af de forekommende tokimbladede ukrudtsarter optalt i sprøjtevinduerne. Optællingen var planlagt til at starte i februar, men på grund af snedække var det i 2011 mange steder først aktuelt at starte i marts, således at optællingsperioden blev forskudt.

Udvælgelsen af markerne, afsætningen af sprøjtevinduerne og monitoringen er foretaget af lokale konsulenter i Dansk Landbrugsrådgivning i samarbejde med Videncentret for Landbrug. For hver forsøgsmark er der fremskaffet vejrdata fra den nærmest liggende vejrstation. Den daglige gennemsnitstemperatur blev anvendt til at beregne den akkumulerede temperatursum i 2 m's højde over en given tærskelværdi (T_0 ; °C).

For hver mark blev den samlede fremspiring på hver dato beregnet som summen af fremspiringen i alle prøvofelterne. Ukrudtsarter, som blot var observeret en eller to gange i marken i løbet af forsøgsperioden, blev sorteret fra inden den videre analyse. Dernæst beregnedes for hver art i hver mark en akkumuleret fremspiringskurve, som blev skaleret til 100%. Fremspiringen af hver ukrudtsart blev til sidst opsummeret med en S-formet kurve som funktion af graddagssummen. Alle markerne blev slået sammen for at estimere denne kurve, som således inddrog den geografiske variation i ukrudtets fremspiring, korrigeret for lokale vejrforhold via den lokalt beregnede graddagssum, som blev beregnet på basis af den daglige gennemsnitstemperatur (Wang, 1960).

1.6 Arbejdspakke 6: Effekter af direkte metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af ukrudt i landbrugsafgrøder

1.6.1 Baggrund

Ikke-kemiske metoder til ukrudtsbekæmpelse fik fornyet interesse i 1980'erne efter at have været negligeret i mange år som følge af adgangen til effektive og billige herbicider. Siden da har der foregået forskning i ikke-kemiske ukrudtsbekæmpelsesmetoder i Danmark, og indsatsen har været rettet mod de store landbrugsafgrøder såvel som frilandsgrønsager (Melander *et al.*, 2005). Internationalt er der også øget fokus på det ikke-kemiske område, dog med nogen forsinkelse i forhold til lande som Sverige og Danmark.

De ikke-kemiske metoder finder i første række anvendelse i økologisk jordbrug, hvor nye metoder løbende bliver implementeret. Implementeringen i det konventionelle jordbrug har slet ikke det samme omfang, hvilket skyldes herbicidernes høje effektivitet og relative lave priser sammenlignet med de fleste ikke-kemiske metoder, men de nye pesticidafgifter og kravet fra EU om at følge principperne for IPM (se Introduktion) må antages at resultere i en stigende interesse for ikke-kemiske metoder (Hillocks, 2012).

Da der foreligger resultater fra et stort antal forsøg udført i de seneste 10-15 år samt masser af praktiske erfaringer fra primært økologiske landmænd, er denne arbejdspakke en vidensyntese, som sammenfatter de seneste års resultater og erfaringer med direkte ikke-kemiske metoder til bekæmpelse af frøukrudt i landbrugsafgrøderne korn, bælgssæd, raps, kartofler og majs. En direkte metode defineres som en redskabsbaseret bekæmpelsesaktion udført direkte i afgrøden.

De omtalte bekæmpelsesmetoder er kun relevante over for frøukrudt, fordi de generelt har utilstrækkelig effekt over for rodukudt. Ikke-kemisk bekæmpelse af rodukudt skal foregå i perioderne mellem dyrkningen af afgrøderne og vil i de fleste tilfælde medføre en betydelig anvendelse af jordbearbejdning. Vidensyntesen vil kun omfatte de metoder, som vurderes at kunne blive relevante elementer i IPM-koncepter til bekæmpelse af frøukrudt i de nævnte landbrugsafgrøder. Det vil primært dreje sig om mekaniske metoder.

1.6.2 Formål

Arbejdspakkens formål er at kvantificere effekten af ikke-kemiske metoder for de afgrøder, hvor de vurderes at kunne finde anvendelse. Ud fra arbejdshypotesen "ikke-kemiske metoder til ukrudtsbekæmpelse kan i en vis udstrækning erstatte anvendelsen af herbicider" gives der forslag til, hvorledes de ikke-kemiske metoder bedst kan inkluderes i IPM koncepter.

1.6.3 Metode

I videnssynthesen er følgende scenarier blevet analyseret: 1) ukrudtsharvning i vårsæd, vinterhvede, bælgæd og majs, 2) radrensning i korn og raps samt 3) stjernerulleharvning i kartofler. Med udgangspunkt i den gennemførte analyse er der udarbejdet en oversigt over forventede bekæmpelseeffekter med de forskellige ikke-kemiske metoder under gunstige forhold samt variabiliteten i effekten, som typisk er et udtryk for betydningen af gunstige forhold på bekæmpelsestidspunktet.

1.7 Arbejdspakke 7: Koncept for beslutningsstøttesystem som kan vejlede om integreret ukrudtsbekæmpelse

1.7.1 Baggrund

Eksisterende beslutningsstøttesystemer til ukrudtsbekæmpelse har en kortere tidshorisont end nødvendigt for at udføre integreret ukrudtsbekæmpelse. Typisk anvises den optimale anvendelse af herbicider i forhold til den aktuelle dyrkningssituation. Imidlertid skal flere aspekter inddrages i integreret ukrudtsbekæmpelse udover herbicider bl.a. sædskifte, ukrudtets populationsdynamik og herbicidresistens.

Perspektiverne for anvendelsen af systemer til beslutningsstøtte, varsling og monitorering er blevet udredt i en nylig rapport, ikke blot for ukrudt, men for alle skadevoldere i dansk landbrug, gartneri og frugtavl (Axelsen *et al.*, 2012). Rapporten kan således danne grundlag for udviklingen af nye koncepter for beslutningsstøttesystemer til integreret ukrudtsbekæmpelse (i det følgende benævnt "BSS-ukrudt"). Axelsen *et al.* (2012) anbefaler, at det forsøges at inddrage mere af ukrudtets biologi i de modeller, som ligger til grund for BSS-ukrudt. Dette vil resultere i mere generelt anvendelige modeller og ikke mindst en mere langsigtet beslutningshorisont. Med samme formål efterlyses inddragelse af vejret i BSS-ukrudt samt af konkurrencedynamikken mellem afgrøde og ukrudt. Rapporten indeholder også skematiske udkast til de modeller, som et BSS-ukrudt skulle være opbygget af, herunder adgang til databaser med modellens parameterverdier og aktuelle vejrdata og vejrprognoser.

1.7.2 Formål

Arbejdshypotesen for dette systemudviklingsarbejde var, at det er muligt at designe software, som kan understøtte både strategiske og taktiske valg i integreret ukrudtsbekæmpelse. Det forventedes, at dette design ville kunne udmøntes i et konkret softwaredesign i form af moduler, objekter, logik, datastrømme og use-cases, samt i en beskrivelse af de tekniske muligheder for implementering. Imidlertid blev det under arbejdet klart, at et så konkret softwaredesign, udviklet alene på baggrund af teoretiske overvejelser og formodninger om brugssituationen, ikke ville være nyttigt. I nutidens softwareindustri udvikles designet løbende samtidigt med implementeringen og i tæt kontakt med brugen for eksempel i forskellige varianter af *agile software development* (Martin, 2006). Det kan forekomme naturligt, at det første trin i et softwareudviklingsprojekt er udfærdigelse af en detaljeret produktbeskrivelse, inden implementeringen går i gang, men både de første teoretiske overvejelser og de senere erfaringer (Martin, 2006) har vist, at denne tilgang ikke fungerer.

1.7.3 Metode

De systemudviklingskoncepter, som skal tages i anvendelse for at sikre, at et nyt BSS-ukrudt vil være nyttigt, er analyseret. Først introduceres modellens rolle i konstruktionen af BSS-ukrudt. Dernæst præsenteres de tre primære brugergrupper af BSS-ukrudt (landmænd, konsulenter og embedsmænd), deres forudsætninger, krav og ønsker. Den agronomiske model er det videnskabelige grundlag for BSS-ukrudt. Derfor beskrives forskerens rolle i udviklingen af BSS-ukrudt. BSS-ukrudt hviler fagligt både på agronomi og på datalogi. Derfor beskrives ukrudtsmodellernes rolle i BSS-ukrudt, og BSS-ukrudt beskrives som det software, det er. Som eksempel på et vellykket BSS-ukrudt præsenteres det australske RIM med forslag til tilpasning til danske forhold. Endelig opsummeres anbefalinger til udviklingen af fremtidens BSS-ukrudt. Analysen er baseret på synspunkter og erfaringer, som ikke er nye, men som ikke tidligere er sat i denne sammenhæng (Beck *et al.*, 2001; Cousens 1987, 1995; Freckleton *et al.*, 2008; Holst *et al.*, 2007; Oreskes *et al.*, 1994).

2. Projektets resultater

I dette afsnit præsenteres de vigtigste resultater fra de 7 arbejdspakker. En mere detaljeret præsentation og diskussion af resultaterne fra de 7 arbejdspakker kan findes i bilag 1-7.

2.1 Sædskiftets betydning for IPM-baseret ukrudtsbekæmpelse

2.1.1 Erfaringer fra udenlandske og danske sædskifteforsøg

Bohan *et al.* (2011) analyserede data for jordens indhold af ukrudtsfrø fra 257 marker fordelt over det meste af Storbritannien. Konklusionen af deres analyse var, at sammensætningen af sædskiftet de seneste 3 år kunne forklare 80% af variationen i forekomsten af både en- og tokimbladet ukrudt samt den samlede pulje af ukrudtsfrø. Blev analysen udvidet til en 4-årig dyrkningshistorie, blev forklaringssevnen ikke signifikant bedre, og forfatterne konkluderede, at blot 3 års dyrkningshistorie var nødvendig for med rimelighed at kunne forklare artssammensætningen af ukrudtsfrø i frøbanken. I forbindelse med ENDURE projektet blev den britiske analyse udvidet til også at omfatte sædskiftedata fra Tyskland, Danmark, Ungarn og Italien. Analyserne er endnu ikke afsluttet, men de foreløbige resultater bekræfter, at sædskiftet har stor betydning for ukrudtstrykket, og at geografisk oprindelse havde ingen eller en svag effekt.

Fra Frankrig foreligger der resultater fra et 6-årigt sædskifteforsøg udført i nærheden af Dijon i det nordøstlige Frankrig. Ukrudtspopulationen blev fulgt i 5 forskellige dyrkningssystemer designet til at begrænse afhængigheden af herbicider og i nogle systemer også at begrænse arbejdsindsatsen. Standardsystemet bestod af 100% efterårssåede afgrøder (hvede, raps og byg), mens IPM-systemerne havde en større diversitet af afgrøder og såtidspunkter. Andelen af forårssåede afgrøder i IPM-systemerne varierede med en forårssået afgrøde i 1 eller 2 af de 6 år. Sammenlignet med standardsystemet var forbruget af aktivstoffer 70-90% lavere og antallet af behandlinger 40-70% lavere i IPM-systemerne, hvor der blev anvendt herbicider. Der blev benyttet en række ikke-kemiske metoder, eksempelvis forsinket såtidspunkt, falsk såbed og mekanisk ukrudtsbekæmpelse foruden båndsprøjtning til minimering af herbicidindsatsen i rækkeafgrøder. Efter en 6-årig periode havde IPM-systemerne ikke givet anledning til en forværring af ukrudtssituationen, men det skal bemærkes, at ukrudtspopulationen ved forsøgets start var lav (Chikowo *et al.*, 2009).

I en anden fransk undersøgelse blev effekten af lucerne i sædskiftet undersøgt (Meiss *et al.*, 2010). Baggrundsmaterialet var en analyse af 420 marker, i hvilke lucerne indgik med varigheder fra 1 år eller 2-6 år i sædskifterne. Enårige ukrudtsarter, især højt voksende (f.eks. agersennep (*Sinapis arvensis*)) og klatrende (f.eks. burrenerre (*Galium aparine*)), der normalt volder problemer i kornafgrøder, aftager med lucernedyrkingen, mens forekomsten af nogle flerårige arter stiger (f.eks. mælkebøtte (*Taraxacum officinale*)).

Fra Tyskland foreligger der resultater fra meget langvarige sædskifteforsøg (1984-2001) (Pallutt, 1999; Pallutt & Grübner, 2004). Sædskifterne bestod af henholdsvis et blandet sædskifte med 50% vintersæd og et kornrigt sædskifte med 75% vintersæd. Jordbearbejdningen var henholdsvis vendende (pløjning) og ikke-vendende (harvning). Herbicidindsatsen bestod af 4 niveauer: ingen, standarddosering af de valgte løsninger samt 50 og 25% af standarddoseringen. Afgrødevalget i sædskifterne var ikke helt fast for hele forløbet, kun andelen af vintersæd lå fast. Antallet af tilgængelige herbicider, der kunne vælges imellem, var større, og de anvendte doseringer var højere

end normerne for Danmark i samme periode. Vindaks forekom på forsøgsarealet fra begyndelsen, og bestanden kunne holdes på et kontinuerligt lavt niveau i det blandede sædskifte, selv under pløjefri dyrkningsforhold og ved 50% af normaldoseringen af herbicider med effekt mod vindaks. I det kornrige sædskifte var det ikke muligt at slække på doseringen, og i det pløjefri dyrkningssystem var fuld dosis ikke nok til at give en acceptabel bekæmpelse. Tilsvarende observationer blev gjort med burrener i slutningen af forsøgsperioden.

Svenske undersøgelser med 3 fastliggende sædskifteforsøg udført på 3 lokaliteter i Sydsverige understregede, at et alsidigt sædskifte effektivt forhindrer opformering af tabsvoldende ukrudtsarter (Andersson & Milberg, 1996; Andersson & Milberg, 1998). Sædskifterne var 6-årige med 5-6 forskellige afgrøder, og efter 26 års forløb havde ingen af sædskifterne udviklet et ukrudtsproblem på trods af en meget moderat indsats af herbicider.

Antallet af danske sædskifteforsøg er meget begrænset. Der er udført forsøg i regi af forskningsaktiviteterne i økologisk jordbrug, men disse har meget begrænset relevans for situationen i det konventionelle jordbrug, da dyrkningsforhold og praksis er meget forskellige. Af større relevans er CENTS forsøgene ved Aarhus Universitet i Foulum og Flakkebjerg, hvor forskellige sædskifter er sammenlignet i kombination med forskellige jordbearbejdningsstrategier og herbicidindsatser. Forsøgene blev igangsat i 2002, hvor der blev udsået vindaks i nogle af parcellerne. Sammenfattende har resultaterne vist, at en nedsat kemisk bekæmpelsesindsats, med risiko for varierende effekter mod en tabsvoldende ukrudtsart som vindaks, kan medføre økonomiske tab i sædskifter med 75% vintersæd eller mere. Mindre justeringer af sædskiftet kan mindske problemerne med en anden aktuel græsukrudtsart, stor væselhale (*Vulpia myuros*). Stor væselhale reagerede meget kraftigt på pløjning og forekom ikke, hvor der blev pløjet. Kombineres ensidig vinterhvededyrkning og pløjefri dyrkning, kan problemet stige betragteligt, hvorimod et mere blandet sædskifte modvirkede opformering selv under pløjefri dyrkningsforhold. En anden ukrudtsart, der blev opformeret ved pløjefri dyrkning, var burrener, en af de mest tabsvoldende tokimbladede ukrudtsarter.

Med udgangspunkt i bl.a. resultaterne fra ovenstående forsøg, er der i tabel 1 vist hvilke enårige ukrudtsarter, der kan forventes at blive et problem i forskellige sædskifter. Rodukrudtsarter er ikke medtaget, da deres forekomst ikke vurderes at være knyttet til sædskiftet.

TABEL 1.

TYPISKE SÆDSKIFTER MED ANGIVELSE AF ENÅRIGE PROBLEMUKRUDTSARTER, DERES LIVSVARIGHEDER OG BEKÆMPELSESBEHOV MED OG UDEN VEDENDE JORDBEARBEJDNING.

Sædskifte	Problemarter	Livsvarighed	Bekæmpelsesbehov	
			Vedende jordbearbejdning	Ikke-vedende jordbearbejdning
VV-VV-VV-VV	Enårig rapgræs (<i>Poa annua</i>)	VA-SA	**	**
WB-VR-VV-VV	Vindaks (<i>Apera spica-venti</i>)	VA	***	***
VV-VV-VV-VR	Ager-rævehale (<i>Alopecurus myosuroides</i>)	VA	***	***
	Gold hejre (<i>Anisantha sterilis</i>)	VA-(SA)	*	***
	Blød hejre (<i>Bromus hordeaceus</i>)	VA-SA	*	***
	Langstakket og Stor væselhale (<i>Vulpia</i> spp.)	VA	*	***
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	VA-SA	**	***
	Korn-valmue (<i>Papaver rhoeas</i>)	VA	**	**
	Floraen generelt	VA-(SA)	**(*)	***
M-M-M-M	Storkenæbarter (<i>Geranium</i> spp.)	SA-VA	***	***
	Grøn skærmaks (<i>Setaria viridis</i>)	SA	**	***
	Alm. hanespore (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	SA	**	***
	Vortemælkarter (<i>Euphorbia</i> spp.)	SA	**	?
	Sort natskygge (<i>Solanum nigrum</i>)	SA	**	?
	Liden nælde (<i>Urtica urens</i>)	SA	**	?
	Floraen generelt	SA-(VA)	**	***
VB-VB-VB-VB	Flyvehavre (<i>Avena fatua</i>)	SA	**	***
	Ager-sennep (<i>Sinapis arvensis</i>)	SA	**	?
	Hanekroarter (<i>Galeopsis</i> spp.)	SA	**	?
	Hvidmelet gåsefod (<i>Chenopodium album</i>)	SA	**	?
	Pileurterter (<i>Polygonum</i> spp.)	SA	**	?
	Gul okseøje (<i>Chrysanthemum segetum</i>)	SA	**	?
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	SA-VA	*	***
	Floraen generelt	SA-(VA)	**	***

VV: vinterhvede, WB: vinterbyg, VR: vinterraps, M: majs, VB: vårbyg

* lavt bekæmpelsesbehov

** middel bekæmpelsesbehov

*** stort bekæmpelsesbehov

VA overvintrende enårig (vinterannuel)

SA sommer-enårig (sommerannuel)

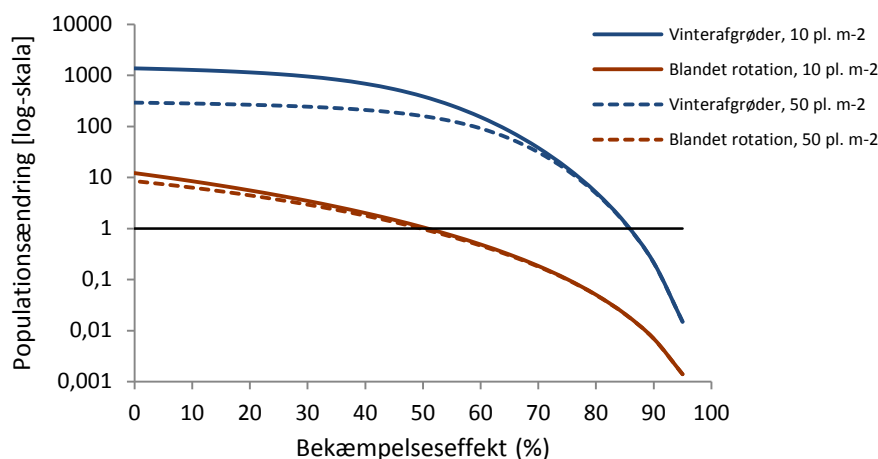
VA-SA arter med begge livsvarighedstyper

? effekten ukendt eller svær at vurdere

2.1.2 Simuleringer af sædskiftets betydning på forekomsten af vindaks

I figur 1 er det vist, hvordan en vindaksbestand opformeres eller decimeres alt afhængig af udgangsbestanden af vindaks ved sædskiftets start og det opnåede effektniveau af bekæmpelse. Analysen viser, at sædskiftet udelukkende bestående af vinterafgrøder ("Vinterafgrøder") kræver et effektniveau mod vindaks på ca. 90% ved hver eneste bekæmpelse for at undgå en opformering af

bestanden. Det er bemærkelsesværdigt, hvor hurtigt vindaksbestanden opformeres, så snart effektniveauet falder. Indgår der 40% vårsæd i sædskiftet ("Blandet rotation"), falder effektkravet til undgåelse af en opformering af vindaksbestanden betragteligt.

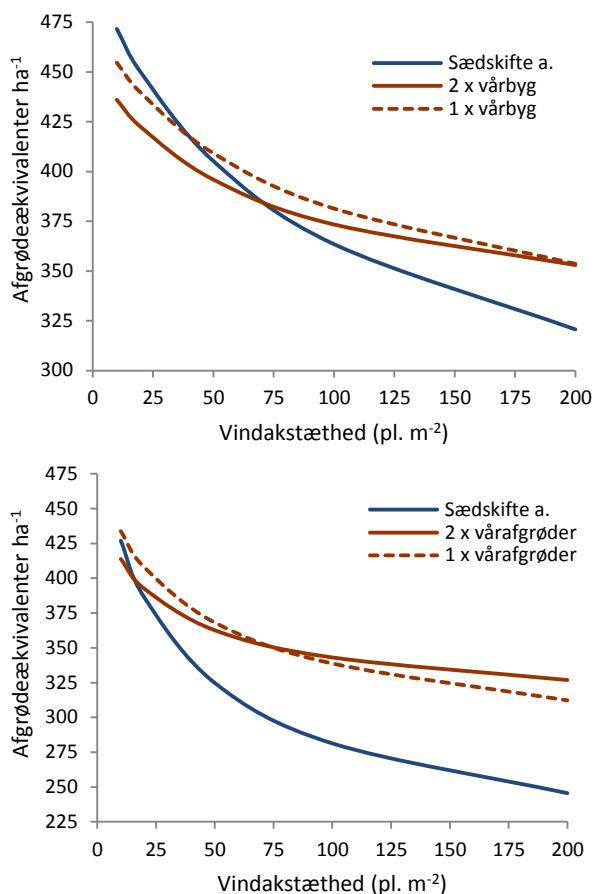


FIGUR 1.

SAMMENHÆNGEN MELLEM BEKÆMPELSEEFFEKTEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DE RELATIVE ÆNDRINGER AF VINDAKSBESTANDEN (FAKTOR FOR ÆNDRING), SOM BEKÆMPELSESNIVEAUET VIL MEDFØRE EFTER 6 ÅRS FORLØB I ET SÆDSKIFTE MED KUN VINTERAFGRØDER ("VINTERAFGRØDER") OG ET BLANDET SÆDSKIFTE MED 60% VINTERAFGRØDER OG 40% VÅRAFGØDER ("BLANDET ROTATION"). SAMMENHÆNGENE ER VIST FOR TO STARTPOPULATIONER AF VINDAKS: 10 PLANTER/M² OG 50 PLANTER/M². ER POPULATIONSÆNDRINGEN OVER 1, SKER DER EN STIGNING AF BESTANDEN OG TILSVARENDE EN NEDGANG FOR VÆRDIER UNDER 1.

Produktiviteten af de to sædskifter afhænger foruden af udbyttetabet forårsaget af forekomsten af ukrudt også af udbyttene i de forskellige afgrøder samt værdien af afgrøden. I den udførte simuleringer er begrebet afgrødeækvivalent anvendt, som er et mål for afgrødens værdi som humanernæring og dermed indirekte værdien som dyrefoder. Med udgangspunkt i nogle forventede udbytter af de to sædskifter blev produktiviteten af de to sædskifter sammenlignet ved forskellige bekæmpelsesniveauer. I et ukrudtsfrit scenarie vil sædskifte "Vinterafgrøder" altid være mere produktiv end sædskifte "Blandet rotation". Hvis vindakstrykket er højt (startpopulation på 50 planter m⁻²), skal effektniveauet mod vindaks være mindst 88 %, hvis "Vinterafgrøder" skal fastholde en højere produktionsevne. Simuleringerne underbygger erfaringerne fra bl.a. de tyske sædskifteforsøg, at der i sædskifter med 100 % vinterafgrøder kræves en meget høj bekæmpelseeffekt af vindaks for at fastholde produktiviteten.

I ovennævnte simuleringer er det forudsat, at der pløjes hvert år. I et scenarie med pløjefri dyrkning bliver forskellene imellem sædskifterne endnu tydeligere. I figur 2 er der givet et eksempel på effekterne af at erstatte første års vårafgrøde i "Blandet rotation" med vinterhvede, således at der kun er vårbyg én gang i løbet af de 6 år. I et sædskifte med pløjning og en høj bekæmpelseeffekt (90%) mod vindaks er sædskiftet med kun én vårafgrøde mest produktiv ved en vindaksudgangsbestand i intervallet 30-200 planter m⁻², mens en ændring af sædskiftet ikke kan betale sig, når antallet af vindaksplanter er lavere end 30 planter/m². I et pløjefrit dyrkningssystem skærpes kravet til inddragelse af vårafgrøder. Sædskiftet med to års vårbyg er her det mest yderige system ved vindaksbestande større end 75 planter/m². Argumentet for en aktiv udnyttelse af sædskiftet som medspiller i bestræbelserne på at håndtere vindaksforekomster uden et alt for stort herbicidforbrug træder altså tydeligere frem ved pløjefri dyrkning.



FIGUR 2. SAMMENHÆNGEN MELLEM BESTANDEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DEN UDBYTTEMÆSSIGE PRODUKTIONSEVNE (ANTAL AFGRØDEÆKVIVALENTER EFTER 6 ÅRS FORLØB) AF SÆDSKIFTERNE KUN MED VINTERAFGRØDER ("SÆDSKITTE A") OG "BLANDET ROTATION" MED ÉN OG TO VÅRBYGAFGRØDER VIST FOR HENHOLDSVIS ET PLØJET (TIL VENSTRE) OG ET PLØJEFRI (TIL HØJRE) SYSTEM. I SCENARIET MED PLØJNING ER BEKÆMPELSEEFFEKTEN SAT TIL 90 %, MENS DEN ER SAT TIL 95% I DET PLØJEFRI, HVOR PARAMETEREN FREMSPIRING ER HÆVET GRUNDET OPHOBNING AF FRØ I DE ØVERSTE JORDLAG.

2.1.3 Sædskitteændringers indflydelse på ukrudtsfloraen og behovet for bekæmpelse

Set på landsplan giver de vintersædsbaserede sædskitter de største ukrudtsproblemer, fordi især græsukrudtsproblematikken lægger pres på dyrkningssystemernes ydeevne (eksemplificeret i figur 1 & 2) og dermed på økonomien i planteavl. Sædskitter baseret på forårssåede afgrøder kan også føre til store lokale problemer med f.eks. flyvehavre, men samlet betragtet er det de vintersædsbaserede sædskitter, der er mest problematiske.

I tabel 2 er 5 sædskitter sammenlignet, og der er foretaget en vurdering af bekæmpelsesbehovet. Resultaterne stammer fra EU projektet ENDURE (Ferguson & Evans, 2010; Fortino *et al.*, 2010; Melander *et al.*, 2010). Der er taget udgangspunkt i et typisk sædskitte på svinebrug, hvor formålet er at maksimere produktionen af foder til svinene. I de fem sædskitteeksempler kan herbicidforbruget yderligere nedsættes ved at supplere med ikke-kemiske tiltag, det vil sige praktisere integreret ukrudtsbekæmpelse. Disse tiltag vil sammen med sædskitteændringerne udgøre egentlige IPM-koncepter. Hvor meget disse tiltag vil bidrage til en reduktion af herbicidforbruget i den enkelte afgrøde, er der givet bud på i afsnit 5.6.

TABEL 2.
 EKSEMPLER PÅ SÆDSKIFTER TIL SVINEBRUG, HVOR BEHOVET FOR HERBICIDINDSATS FALDER GRADVIST FRA
 SÆDSKIFTE 1 TIL 5.

Sædskifte	Ukrudtsflora	Bekæmpelsesbehov
Sædskifte 1 Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede	Foruden vinterannuelle græsukrudsarter typisk VA-SA-arter som: Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>) Ærenprisarter (<i>Veronica</i> spp.) Ager-stedmoder (<i>Viola arvensis</i>) Lugtløs kamille (<i>Tripleurospermum inodorum</i>) Fuglegræs (<i>Stellaria media</i>) Tvetandarter (<i>Lamium</i> spp.) Hyrdetaske (<i>Capsella bursa-pastoris</i>) Markforglemmigej (<i>Myosotis arvensis</i>)	Generelt stort bekæmpelsesbehov mod græsukrudt, burre-snerre, kamille og korn-valmue.
Sædskifte 2 Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg	Floraen fra referencesædskiftet vil fortsat dominere, men forekomsten af græsukrudt vil dæmpes. I vårbyg vil der også være SA-arter, men i lav forekomst.	Væsentligste besparelse i forhold til sædskifte 1: græsukrudtsmidler skal ikke anvendes i 20% af tiden.
Sædskifte 3 Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg+efterafgrøde Vårbyg	Floraen fra referencesædskiftet vil fortsat dominere, men sædskiftet vil virke mere sanerende på græsukrudt end sædskifte 2. I vårbyg vil der være SA-arter, men i lav til moderat forekomst.	I forhold til sædskifte 1. vil græsherbicider kunne undværes i 33% af tiden.
Sædskifte 4 Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Kernemajs Vårbyg	VA-SA arterne svarende til referencesædskiftet vil fortsat forekomme, men græsukrudsarterne og burre-snerre vil forekomme moderat og kontrollable. SA-arter knyttet til majs og vårbyg vil kun forekomme i mindre omfang, da de to afgrødearter kun optræder 1 ud af 5 år.	Græsherbicider kan undværes i raps og forårssåede afgrøder, hvilket giver en 60% besparelse af græsherbicider sammenlignet med sædskifte 1.
Sædskifte 5 Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg+lucerneudlæg Lucerne Lucerne Vinterraps	Ingen ensidige ukrudtsproblemer, en meget blandet flora overvejende bestående af VA-SA arter i lave til moderate forekomster. Desuden kan der være sporadiske forekomster af to-årige og flerårige arter f.eks. mælkebøtte og kruset skræppe.	Herbicider skal kun anvendes 50% af tiden. Ingen behov for græsukrudtsmidler.
VA overvintrende enårig (vinterannuel) SA sommer-enårig (sommerannuel) VA-SA arter med begge livsvarighedstyper		

2.1.4 Konklusioner

- Afrødesammensætningen og -rækkefølgen i et sædskifte er styrende for det aktuelle ukrudtsproblem, og sædskiftet har større betydning for ukrudtsfloraens sammensætning end nogen anden dyrkningsfaktor.
- Effekten af sædskifte er først og fremmest over for enårige ukrudtsarter, hvorimod flerårigt ukrudt reagerer mindre på sædskifteændringer.
- Sædskifter domineret af enårige, forårssåede afgrøder vil trække ukrudtsfloraen i retning af stor forekomst af sommerannuelle arter med risiko for f.eks. problemer med flyvehavre. Modsat vil sædskifter domineret af vintersæd trække floraen i den modsatte retning og føre til en situation med enårige græsukrudtsarter og burresnerre.
- Problemer med græsukrudt og burresnerre som følge af hyppig dyrkning af vinterafgrøder kan kun ændres mærkbart og vedvarende, hvis andelen af efterårssåede afgrøder nedbringes til 50% eller mindre af sædskiftets afgrødesammensætning.
- Ikke-vendende jordbearbejdning kan accelerere et ukrudtsproblem, men kun ved hyppig dyrkning af den afgrødetype, i hvilke ukrudtsartens livscyklus er tilpasset.
- Sædskiftet er den dyrkningsfaktor eller forebyggende foranstaltning, som kan ændre/nedbringe herbicidforbruget mest, da det kan modvirke opformeringen af ensidige og tabsvoldende ukrudtsproblemer med et stort bekæmpelsesbehov.

2.2 Prognosemodel for spirehvile i frø af ukrudtsgræsser

2.2.1 Spireevne af høstede frø

Resultaterne af de spiretest, der blev foretaget på frøprøver straks efter høst samt 2-3 måneder senere, er vist i tabel 3. I perioden mellem de to spiretest blev frøprøverne opbevaret tørt og ved normal stuetemperatur i laboratoriet. I 2011 var der meget begrænset forskel på resultatet mellem de 2 tidspunkter, mens spireprocenten i 2013 blev væsentligt forøget fra 1. til 2. tidspunkt. Hos arter med primær spirehvile vil spireprocenten straks ved høst være lav, og spireprocenten stiger, når frøprøver spiretestes med stigende afstand til høsttidspunktet, som det var tilfælde i 2013. Som det kan ses, blev der ikke fundet en entydig effekt af klimascenarierne.

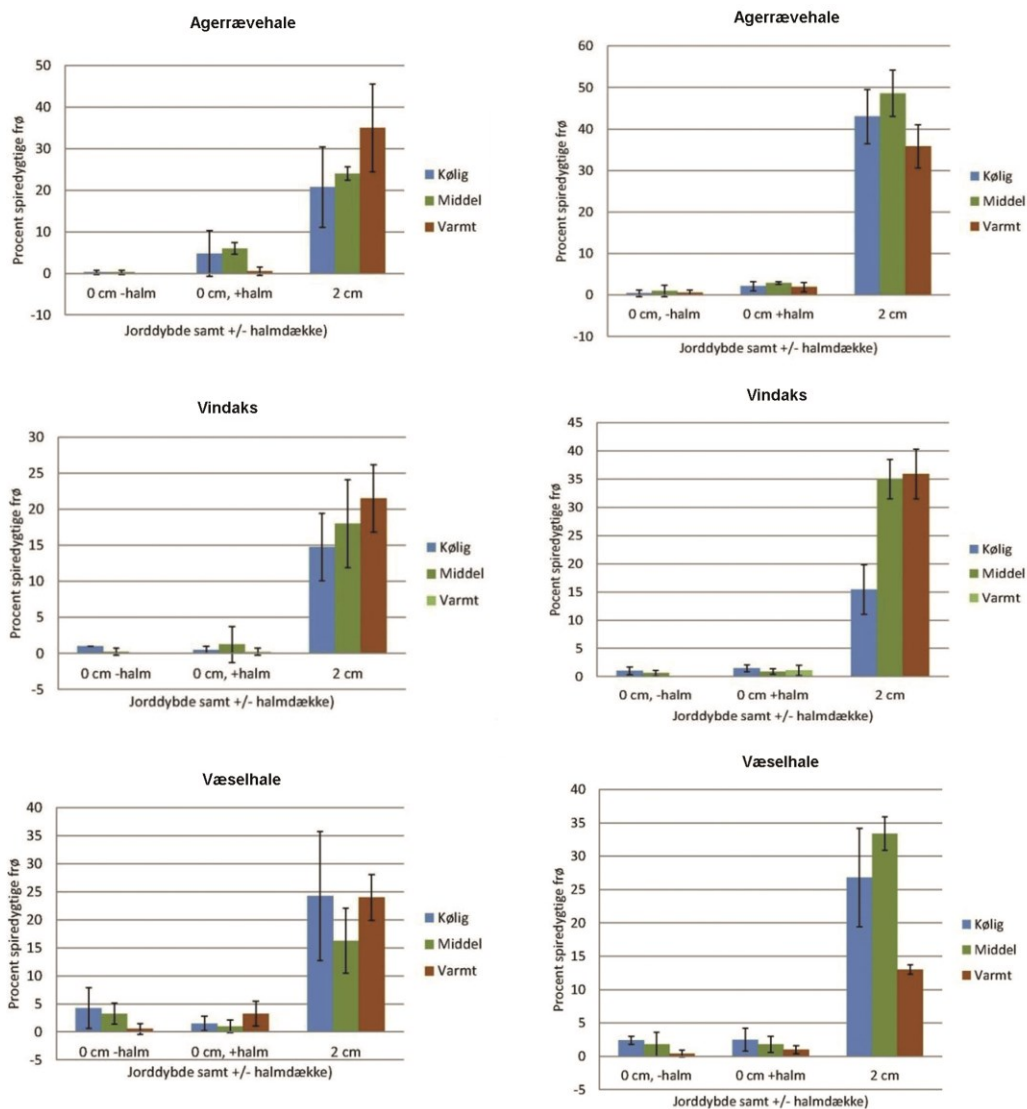
TABEL 3.

SPIREPROCENT AF FRØ FRA AGER-RÆVEHALE, VINDAKS OG VÆSELHALE MODNET VED 3 KLIMASCENARIER.

Art	Klimascenarie	2011		2013	
		Spireprocent ved høst	Spireprocent 2-3 mdr. efter høst	Spireprocent ved høst	Spireprocent 2 mdr. efter Høst
Ager-rævehale	Kølig	7	1	4	55
Ager-rævehale	Normal	14	7	1	49
Ager-rævehale	Varm	10	13	0	30
Vindaks	Kølig	10	7	31	49
Vindaks	Normal	2	3	6	27
Vindaks	Varm	2	3	1	15
Væselhale	Kølig	48	44	1	55
Væselhale	Normal	33	22	0	64
Væselhale	Varm	70	49	13	59

2.2.2 Effekt af stubbearbejdningsstrategier

Alle tre ukrudtsarter har reageret næsten ens på behandlingerne og er, som forventet på baggrund af resultaterne i tabel 3 relativt upåvirket af klimaforholdene i modningsperioden (figur 3). I frøprøver, der har ligget urørt på jordoverfladen i perioden fra begyndelsen af august til midt i september, var der kun få spiredygtige frø tilbage ved den efterfølgende spiretest, hvad enten der var efterladt snittet halm på prøverne eller ej. Frøprøver, der havde ligget i ca. 2 cm's dybde, havde generelt et langt større indhold af spiredygtige frø ved den efterfølgende spiretest.



FIGUR 3. SPIREPROCENT AF AGER-RÆVEHALE, VINDAKS OG VÆSELHALE FRA FRØPRØVER, DER HAR VÆRET UDSAT FOR 3 SIMULEREDE STUBBEARBEJDNINGSSTRATEGIER I PERIODEN FRA MODENHED TIL MEDIO SEPTEMBER, HVOR SPIRETESTEN ER FORETAGET. FRØENES MODNINGSPERIODE FORLØB VED 3 KLIMASCENARIER. FORSØG I 2011 (TIL VENSTRE) OG 2013 (TIL HØJRE).

2.2.3 Konklusioner

- Ingen klar sammenhæng imellem klimaet i modningsperioden og den primære spirehvide hos frø af ager-rævehale, vindaks og væselhale målt som spiring henholdsvis umiddelbart efter høst og 2-3 måneder senere.
- Frø af de 3 ukrudtsgræsser reagerede ens på de simulerede stubbearbejdningsstrategier uanset temperaturforholdene i modningsperioden. I frøprøver placeret på jordoverfladen i perioden fra begyndelsen af august til midt i september var der kun få spiredygtige frø tilbage, hvad enten der var efterladt snittet halm eller ej. Frøprøver, der havde ligget i ca. 2 cm's dybde, havde generelt et langt større indhold af spiredygtige frø. Resultaterne var ens i de to forsøgsår.
- Forsøgene har ikke kunnet bekræfte, at stubbearbejdningsstrategien bør tilpasses klimaforholdene i modningsperioden. Den mest hensigtsmæssige strategi for alle 3 ukrudtsgræsser var i begge år og ved alle klimascenarier at efterlade frøene urørt på jordoverfladen i perioden frem til såning af vintersæd.

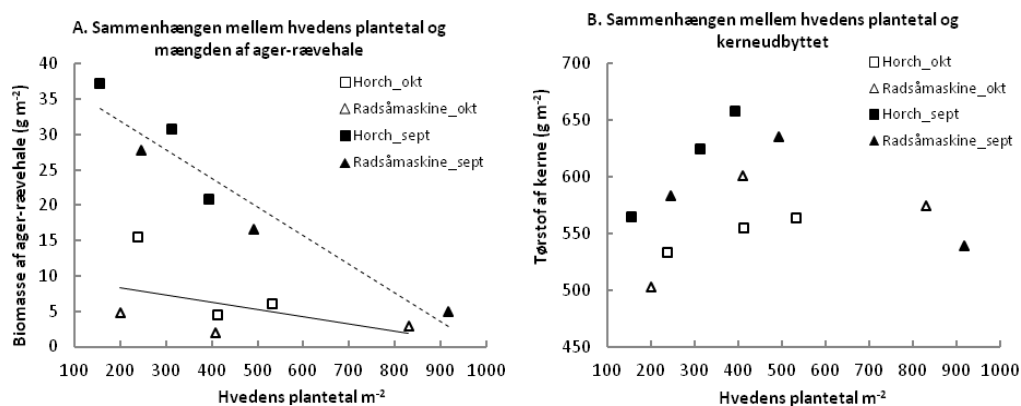
2.3 Betydning af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling

2.3.1 Markforsøg

I 2010/2011-forsøget var der problemer med at opnå samme tætheder med Horsch såmaskinen som med radsåmaskine især for de højeste afgrødetætheder. Det viste sig, at det ikke er muligt at udså den højeste udsædsmængde svarende til en plantetæthed på 800 planter m^{-2} uden en væsentlig ombygning af maskinen. Ved såning i efteråret 2011 blev parceller med den højeste afgrødetæthed derfor etableret ved at så to gange med Horsch systemet i samme parcel, hvorved der blev opnået tilnærmelsesvis samme planteantal med begge såmetoder. Optællingen af fremspirede planter i efteråret 2011 viste en gennemsnitlig afgrødetæthed efter såning med Horsch systemet på 412 planter m^{-2} , mens der ved såning med radsåmaskinen i gennemsnit blev opnået 441 planter m^{-2} .

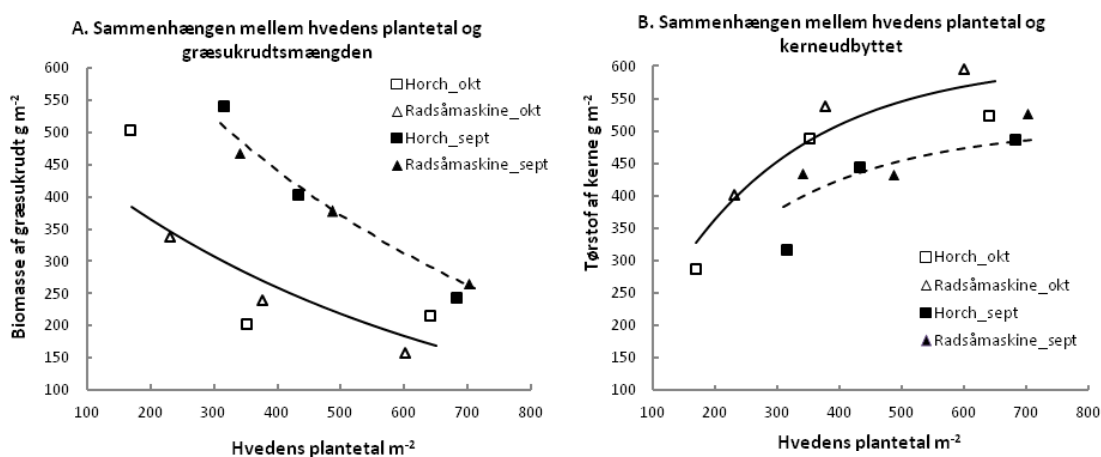
Forekomsten af græsukrudt var forholdsvis beskeden i 2010/2011. Ager-rævehale optrådte dog i et så stort antal, at det var muligt at måle en effekt af forsøgsbehandlingerne. Såteknik havde ingen effekt på ager-rævehale, mens det sene såtidspunkt i gennemsnit førte til ca. 70% mindre biomasse af ager-rævehale, hvilket skyldes en senere fremspiring og en forsinket vækst i forhold til hveden (figur 4A). Stigende tæthed af hveden reducerede generelt mængden af ager-rævehale, hvor effekten var mest udtalt ved tidlig såning; eksempelvis medførte en stigning fra 400 til 800 planter m^{-2} , at mængden af ager-rævehale blev reduceret med 68%. Antallet af fremspirede vindaksplanter var lavt, og de spirede sent frem, hvilket resulterede i, at frøbærende toppe først var synlige sent i vækstsæsonen. På grund af den meget begrænsede vindaksmængde blev toppene optalt i hele parcellen. Såteknik og såtidspunkt havde kun svage effekter på antallet af toppe, mens stigende tæthed af hvede gav samme respons som for ager-rævehale ved det tidlige såtidspunkt.

På grund af et uens plantetal, som især var et problem med Horsch systemet, i kombination med effekterne fra græsukrudtet, var der en signifikant 3-vejsvekselvirkning mellem såteknik, såtidspunkt og plantetal. Udbyttetallene, både fra parcellerne med forekomst af græsukrudt og fra ukrudtsfrie parceller, viste en klar tendens til et udbytteoptimum ved en afgrødetæthed på ca. 400 planter/ m^2 . Det passer godt med den almindelige anbefaling for plantetal i vinterhvede, når ukrudtsforekomsten ikke har væsentlig indflydelse på udbyttet. Såning i september medførte generelt et højere udbyttet (svarende til ca. 10%) end senere såning undtagen ved den højeste afgrødetæthed opnået med radsåmaskinen. I parceller uden græsukrudt blev 1000-kornsvægten ikke påvirket væsentligt af forsøgsfaktorerne (data ikke vist).



FIGUR 4. SAMMENHÆNGENE MELLEM AFRØDETÆTHED OPTALT I EFTERÅRET 2010, SÅTEKNIK, SÅTIDSPUNKT OG EFFEKTER PÅ TØRSTOFMÆNGDEN AF AGER-RÆVEHALE (A) OG KERNEUDBYTTE I HVEDE (B) I 2011. PUNKTERNE ER OBSERVEREDE VÆRDIER VIST SOM GENNEMSIT AF 4 GENTAGELSER. KURVERNE I FIGUR A ER LINEÆR REGRESSION PÅ DATA, OG VISER MINDSTE MODEL, HVOR IKKE SIGNIFIKANTE EFFEKTER AF SÅTEKNIK ER UDELUKKET.

Betydningen af afgrødetæthed kom endnu tydeligere til udtryk i 2011/2012-forsøget, hvor den store bestand af ager-rævehale forstærkede effekterne af behandlingerne. For begge såtidspunkter blev biomassen af græsukrudtet reduceret med 16% for hver 100 planter i intervallet 200-800 planter/m² (figur 5A). Sen såning medførte en reduktion i biomassen af græsukrudt på ca. 41%. Ved sen såning konkurrerede vinterhvede bedre med ukrudtsgræsserne end ved tidlig såning, da ukrudtsgræssernes fremspiring og efterfølgende vækst var mere forsinket end vinterhvedens. Der var ingen forskelle imellem de to typer af såmaskiner, hvilket ses ved, at punkterne følger den samme eksponentielle sammenhæng med afgrødetæthed. Antal vindakstoppe viste ingen klare respons som følge af den store bestand af ager-rævehale.



FIGUR 5. SAMMENHÆNGENE MELLEM AFRØDETÆTHED OPTALT I EFTERÅRET 2011, SÅTEKNIK, SÅTIDSPUNKT OG EFFEKTER PÅ TØRSTOFMÆNGDEN AF GRÆSUKRUDT (AGER-RÆVEHALE + VINDAKS) (A) OG KERNEUDBYTTE I HVEDE (B) I 2012. PUNKTERNE ER OBSERVEREDE VÆRDIER VIST SOM GENNEMSIT AF 4 GENTAGELSER. KURVERNE ER DATA TILPASSET EN EKSPONENTIALFUNKTION, OG HVER FIGUR A OG B VISER MINDSTE MODEL, HVOR IKKE SIGNIFIKANTE EFFEKTER AF SÅTEKNIK ER UDELUKKET. OBSERVEREDE GENNEMSIT I FIGUR A. ER TILBAGETRANSFORMEREDE GENNEMSIT FRA EN ANALYSE BASERET PÅ LOGARITMETRANSFORMEREDE TAL.

Udbyttet var påvirket både af den store forekomst af græsukrudt og behandlingernes effekt på græsukrudtet. Som vist i figur 5B var sammenhængen mellem kerneudbytte og afgrødetæthed omvendt af sammenhængene for biomasse af græsukrudt og afgrødetæthed (figur 5A). Stigningen i

udbyttet var statistisk ens for begge såtidspunkter svarende til ca. 13%, når afgrødetætheden blev øget fra 400 til 800 planter m^{-2} . Sen såning resulterede i en generel stigning i udbyttet på ca. 20% uanset afgrødetætheden, og de største udbytter blev opnået ved høj afgrødetæthed og sen såning. I parceller uden ukrudtsgræsser var der ingen udbytteforskelle mellem såteknikker og såtidspunkter, men derimod en forskel i udbytte ved forskellig afgrødetæthed. Ved såning i september var der ingen forskel imellem afgrødetætheder, mens den laveste plantetæthed gav signifikant lavere udbytte end de to øvrige tætheder ved sen såning. I lighed med forsøget i 2010/2011 var 1000-kornsvægten ikke påvirket af forsøgsfaktorerne.

2.3.2 Semifieldforsøg

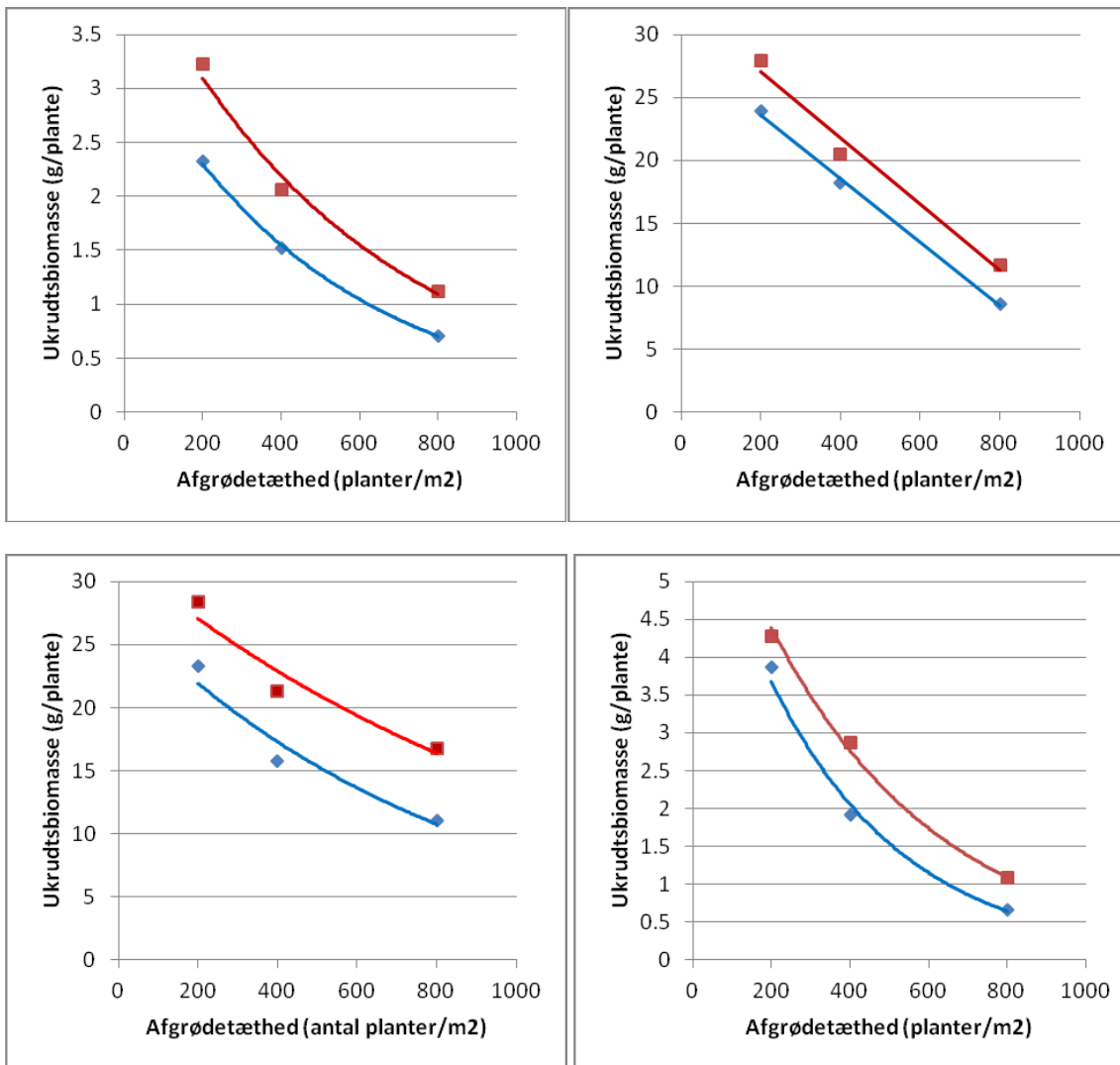
I første års forsøg med ærenpris var der ikke signifikant effekt af ukrudtstæthed. I andet års forsøg var vægten af ærenpris signifikant lavere ved den høje ukrudtstæthed (300 planter/ m^2) sammenlignet med den lave ukrudtstæthed (100 planter/ m^2). I gennemsnit af behandlingerne blev friskvægten pr. ærenprisplante reduceret med 40% ved den høje ukrudtstæthed.

Udsædsmængden var i alle forsøg den parameter, som havde størst betydning for konkurrencen over for ærenpris og vindaks. Som gennemsnit af forsøgsbehandlingerne var der signifikant forskel på ukrudtsbiomasse ved de forskellige afgrødetætheder. Når afgrødetætheden blev øget fra 200 planter m^{-2} til 400 planter m^{-2} blev vægten af ærenprisplanterne reduceret med 25-35%. Ved at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} blev ukrudtsbiomassen yderligere reduceret med 30-35%. Den bedste beskrivelse af ukrudtsbiomasse som funktion af afgrødetæthed var en eksponentialfunktion for resultaterne fra 2011, mens resultaterne fra 2012 viste en lineær sammenhæng mellem afgrødetæthed og biomasse af ærenpris (figur 6A og B).

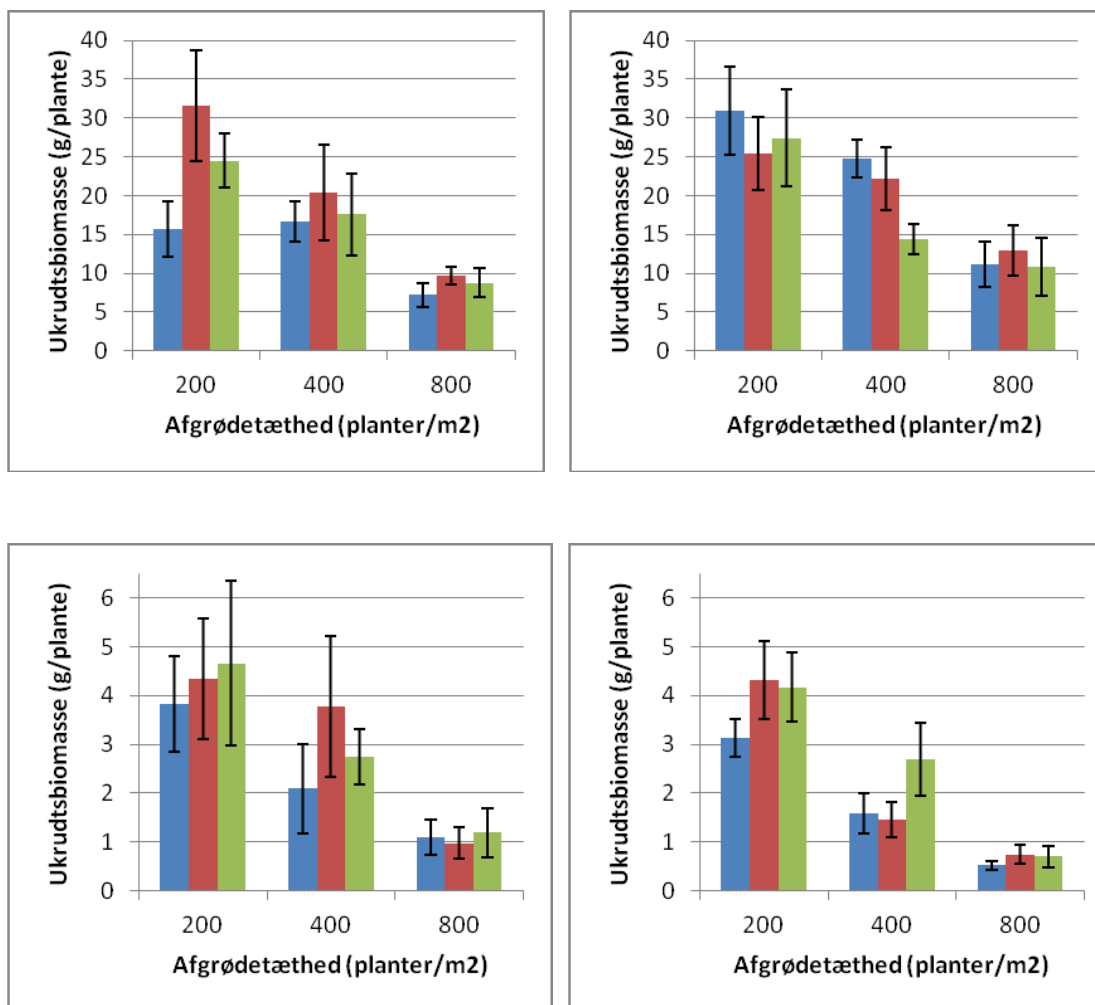
I vindaksforsøgene blev der i det ene forsøg fundet en reduktion af ukrudtsbiomassen på 25-30% ved at øge afgrødetætheden fra 200 til 400 planter m^{-2} og en reduktion på yderligere 15-20% ved at øge afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} . I det andet forsøg var effekterne af øget plantetæthed større med 35-50% reduktion af ukrudtsbiomasse ved at øge afgrødetætheden fra 200 til 400 planter m^{-2} og yderligere 30% reduktion ved at øge afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} (figur 6C og D). Den bedste beskrivelse af effekt af afgrødetæthed på biomasse af vindaks var for begge forsøg en eksponentialfunktion.

Effekten af etableringsmåde (såteknik) var i alle forsøg lille, og kun i få tilfælde blev der fundet signifikant forskel mellem de forskellige såmønstre. Der var ingen tendens til, at den mere ensartede afgrødefordeling, som blev opnået med Horsch systemet, resulterede i en bedre konkurrenceevne (figur 7).

I alle forsøg blev der fundet en signifikant effekt af interhvedesort. I gennemsnit blev der opnået mellem 17 og 26% større reduktion af biomassen af ukrudt med Skagen i forhold til Sleipner. Forskellen i sorternes konkurrenceevne overfor ukrudtet var uafhængig af afgrødetæthed, hvilket fremgår af de tilnærmelsesvis parallelle kurver (figur 6).



FIGUR 6. EFFEKT AF SORTER OG AFGRODETÆTHED PÅ FRISKVÆGT AF ÆRENPRIS (ØVERSTE TO FIGURER, 2011 OG 2012) OG VINDAKS (NEDERSTE TO FIGURER, BEGGE FORSØG UDFØRT I 2012) VIST SOM GENNEMSNIT AF UKRUDTSTÆTHEDER OG SÅMØNSTRE. DE BLÅ SYMBOLER VISER RESULTATER MED SKAGEN, MENS DE RØDE SYMBOLER VISER RESULTATER MED SLEIPNER.



FIGUR 7. EFFEKT AF AFRØDENS RUMLIGE FORDELING OG TÆTHED PÅ KONKURRENCE OVERFOR ÆRENPRIS (ØVERSTE TO FIGURER, 2011 OG 2012) OG VINDAKS (NEDERSTE TO FIGURER, BEGGE FORSØG UDFØRT I 2012) VIST SOM GENNEMSNIT AF UKRUDTSTÆTHEDER. Y-AKSEN ANGIVER FRISKVÆGT I G PR. UKRUDTSPLANTE. VENSTRE FIGUR VISER EFFEKT MED HVEDESORTEN SKAGEN, OG DEN HØJRE FIGUR VISER EFFEKT MED SLEIPNER. DE BLÅ SØJLER ANGIVER EFFEKT AF RADSÅNING, RØDE OG GRØNNE SØJLER VISER EFFEKT AF TO FORSKELLIGE SÅMØNSTRE MED HORSCH (HORSCH 1 OG HORSCH 2).

2.3.3 Konklusioner

- I markforsøgene havde afgrødetætheden i begge forsøgsår en signifikant effekt på biomassen af græsukrudt (ager-rævehale og vindaks), som blev mere end halveret ved at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} . En udsættelse af såtidspunktet fra sidste halvdel af september til midten af oktober medførte en reduktion af ukrudtsbiomassen i 2011 og 2012 på henholdsvis 70 og 40%.
- Der blev ikke fundet signifikant effekt på ukrudtsbestanden af en mere ensartet fordeling af afgrødeplanterne, som der kan opnås med Horsch systemet.
- Konkurrenceforsøg mellem vinterhvede og henholdsvis storkronet ærenpris og vindaks under semifieldforhold konfirmerede resultaterne fra markforsøgene, idet en forøgelse af afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} medførte 30-35% reduktion af biomassen af de to ukrudtsarter, hvorimod der ikke blev fundet signifikante effekter af afgrødens rumlige fordeling. Den konkurrencedygtige sort Skagen havde 20% større effekt på biomassen af ukrudt end den konkurrencesvage sort Sleipner.

- I markforsøgene resulterede sen såning i en reduktion i udbyttet på 10% i 2011 men havde ingen effekt i 2012. I parceller med ukrudt blev opnået 20% merudbytte for sen såning uanset afgrødetæthed.
- Resultaterne viser, at det er muligt at opnå mere end 80% reduktion af biomassen af ukrudt ved optimale kombinationer af sen såning, konkurrencedygtige sorter og stor udsædsmængde, mens afgrødens rumlige fordeling ikke var af signifikant betydning.

2.4 Mellem- og efterafgrøders effekt på ukrudt

2.4.1 Olieræddike som mellemafgrøde

Tilvæksten af olieræddike efter høst af vårbyg var forholdsvis langsom. Ved det seneste nedmuldningstidspunkt (10. oktober) var biomassen ca. 70 g tørstof/m² svarende til 7 hkg tørstof/ha. Fra første til anden nedmuldningstidspunkt var der en gennemsnitlig tilvækst på ca. 0,5 g tørstof/m² pr. dag, som steg til ca. 2,0 g tørstof/m² pr. dag i perioden fra anden til tredje nedmuldningstidspunkt.

Generelt blev der fundet få signifikante forskelle imellem tørvægten af testplanter dyrket i jord udtaget i de parceller, hvor der var nedmuldet olieræddike, og i parcellerne uden mellemafgrøde. Der blev kun i to tilfælde observeret signifikante forskelle. For agerstedmoders vedkommende var der tale om en mindre tilvækst i forsøgsleddet, hvor der var nedmuldet olieræddike, mens det modsatte var tilfældet for storkronet ærenpris. For vinterhvedes vedkommende blev der fundet en større tilvækst efter nedmuldning af olieræddike i to tilfælde samt en mindre tilvækst i et tilfælde. Bedømmelserne i markparcellerne viste generelt en meget lav fremspiring af ukrudt på forsøgsarealet både i parceller med olieræddike og reference parceller. Kun i et tilfælde blev der fundet en statistisk signifikant effekt af olieræddike.

2.4.2 Gul sennep og vinterrug som efterafgrøde

I begge forsøgsår var efterafgrødernes vækst i efteråret forholdsvis langsom med det resultat, at biomassen umiddelbart før den første frost var forholdsvis lille (45,0-133,4 g tørstof/m² for gul sennep og 34,0-109,6 g tørstof/m² for vinterrug). Den beregnede kvælstofoptagelse varierede fra 11 til 34 kg N/ha.

Som tilfældet var for olieræddike, er der kun i få tilfælde fundet signifikante forskelle imellem testplanter dyrket i jord med planterester af efterafgrøder og i jord fra parceller uanset tidspunkt for nedvisning.

2.4.3 Markforsøg med ”strip tillage” teknikken

Afgrøden var veletableret i alle forsøg bortset fra parceller med vinterrug i 2011, hvor dosis af herbicid anvendt til nedvisning ikke var tilstrækkelig til at bekæmpe rugen, hvorved denne i et vist omfang udkonkurrerede afgrøden. Bortset fra dette, var der ingen signifikant effekt af efterafgrøde på rod- og sukkerudbyttet i de tre forsøg (tabel 4).

TABEL 4.
SUKKERROEUDBYTTEN VED FORSKELLIGE EFTERAFGRØDER OG NEDVISNINGSTIDSPUNKTER.

Efterafgrøde	Nedvisning	Rodudbytte (t/ha)			Sukker (t/ha)		
		2011-876	2013-882 ¹	2013-883 ²	2011-876	2013-882 ¹	2013-883 ²
Ingen	Marts	90,0	88,2	86,9	14,5	15,7	16,1
Gul sennep	Marts	85,3	88,1	88,1	13,8	15,9	16,4
Vinterrug	Marts	65,3	85,3	80,4	10,6	15,4	15,0
Vinterrug	April	45,1	85,3	82,8	7,4	15,5	15,3
Gul sennep	Pløjning nov.	.	90,2	86,4	.	16,2	15,9
<i>Isd-værdi</i>		14,2	3,3	<i>ns</i>	2,4	<i>ns</i>	<i>ns</i>

¹Kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

²Mekanisk/kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

Ukrudtsniveauet var generelt meget lavt i forsøgene, hvilket til dels skyldtes strip tillage-teknikken. Der var en tendens til, at gul sennep reducerede den totale ukrudtsmængde, men resultatet er ikke statistisk sikker (tabel 5). Derimod var der i forsøget i 2011 en statistisk sikker reduktion fra 25 til 16 planter/m² både mellem og i rækkerne. Efter vinterrug lå ukrudtsmængden generelt en anelse lavere end efter bar jord, men forskellen er på nogle ganske få planter/m² og formodentligt uden praktisk betydning. Det gennemsnitlige antal er i nogle tilfælde relativt kraftigt påvirket af, at der i en enkel parcel var 10-30 planter/m² af en art, mens der i de øvrige parceller var ganske få planter (data ikke vist).

TABEL 5.
UKRUDTSFREMSPIRING (PLANTER/M²) VED FORSKELLIGE EFTERAFGRØDER. DER ER SKELNET MELLEM AFGRØDERÆKKEN ("RÆKKE"), HVOR DER ER LAVET SÅBED I 20-25 CM BREDDE OG AREALET MELLEM RÆKKERNE ("MIDT"). "N" ANGIVER ANTALLET AF FORSØG, HVOR UKRUDTSARTEN BLEV OBSERVERET. DER BLEV OPGJORT UKRUDT I FIRE PARCELLER I HVERT FORSØG, OG "MAKSIMALT ANTAL" ANGIVER ANTALLET I DEN PARCEL, HVOR DER VAR FLEST UKRUDTSPLANTER AF DEN PÅGÆLDENDE ART. I ALLE TILFÆLDE ER DER ANVENDT GLYPHOSAT FORUD FOR VÆKSTSÆSONEN (2-5 UGER FØR SÅNING) TIL NEDVISNING AF EFTERAFGRØDE OG BEKÆMPELSE AF OVERVINTRENDE UKRUDT.

Forsøg	n	Efterafgrøde	Gennemsnit (standardfejl)			Maksimalt antal	
			Række	Midt	I alt	Række	Midt
2011-876	1	Ingen	25 (2)	25 (5)	25 (3)	30	32
		Vinterrug	23 (5)	21 (4)	22 (4)	38	30
		Gul sennep	16 (2)	16 (3)	16 (2)	20	24
2013-882	1	Ingen	8 (6)	13 (9)	9 (7)	24	41
		Vinterrug	3 (2)	6 (3)	4 (2)	10	13
		Gul sennep	5 (3)	8 (5)	6 (3)	11	19
2014-883	1	Ingen	6 (1)	3 (1)	5 (0)	7	7
		Vinterrug	6 (1)	4 (0)	5 (1)	8	4
		Gul sennep	4 (1)	3 (1)	3 (1)	5	5
2014-884	1	Ingen	9 (1)	9 (1)	9 (1)	12	12
		Vinterrug	11 (1)	9 (4)	11 (2)	14	20
		Gul sennep	11 (4)	10 (4)	11 (4)	22	18
I alt	4	Ingen	12 (2)	12 (3)	12 (3)	30	41
		Vinterrug	11 (2)	10 (2)	10 (2)	38	30
		Gul sennep	9 (2)	9 (2)	9 (2)	22	24

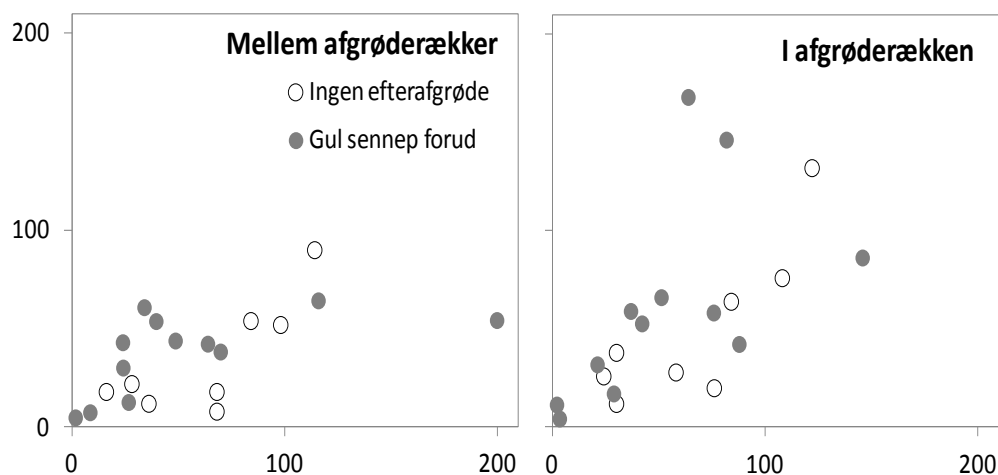
Ved strip tillage-dyrkning af sukkerroer forventes det, at det i visse marker kan vise sig nødvendigt med en forudgående relativ kraftig stubharvning til minimum 10 cm dybde for at bekæmpe spildkorn og græsukrudt samt kompensere for færdselsskader. Supplerende forsøg i 2014 med ekstra stubharvning før efterafgrødeetablering havde en tendens til at øge den samlede ukrudtsmængde (data ikke vist). Supplerende forsøg med to udsædsmængder af hver efterafgrøde

viste ingen effekt, hvilket kan skyldes, at mængden af efterafgrøde var næsten ens ved de to udsædsmængder.

Vinterrug blev enten nedvisnet med glyphosat før såning eller med et græsmiddel efter fremspiring af afgrøden for at undersøge, om et senere nedvisningstidspunkt kan øge den hæmmende effekt på ukrudtsfremspiringen. Effekten må forventes at være størst mellem rækkerne, men samlet set var der kun tale om en reduktion fra 14 til 12 planter/m², og forskellen er ikke statistisk sikker.

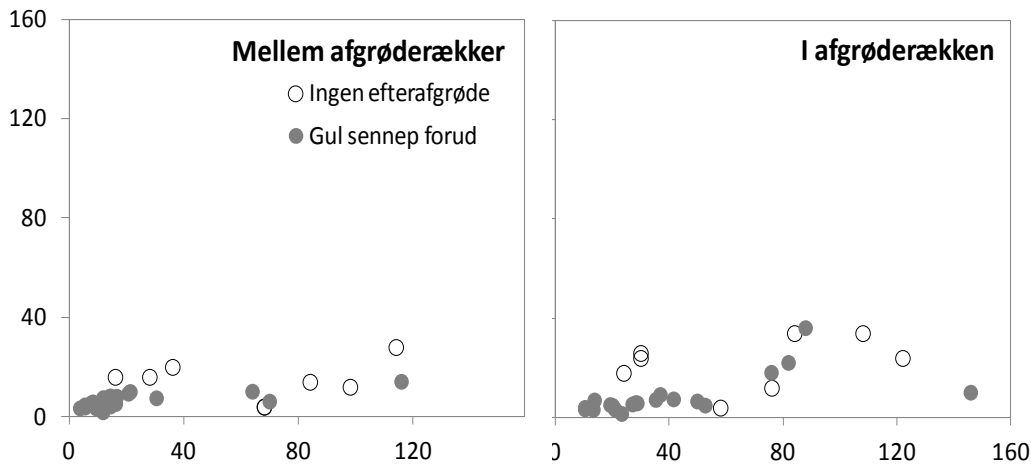
Der var generelt ingen forskel på ukrudtsmængden mellem og i rækkerne i nogen af ovennævnte undersøgelser med efterafgrøder. Dette kan enten skyldes, at efterafgrøden ikke har nogen effekt, eller at effekten af efterafgrøden mellem rækkerne er den samme som jordbearbejdningens effekt i rækkerne. En væsentlig faktor er formodentlig, at strip tillage teknikken i disse forsøg har reduceret ukrudtstrykket markant og til et niveau, hvor yderligere tiltag ikke har haft nogen effekt.

Parallelt med ovenstående undersøgelser af efterafgrøders effekt på ukrudtsfloraen ved strip tillage dyrkning, blev der arbejdet på at forbedre strip tillage teknikken til sukkerroer. Endvidere er det blevet undersøgt, om ændret såbedstilberedning af efterårspløjet jord kan reducere fremspiringen af ukrudt. I figur 8 og 9 er resultaterne af ukrudtsoptællingerne fra forsøg udført i årene 2011 til 2014 vist. Den mest markante effekt sås, når både efterårspløjningen og såbedstilberedningen udføres med strip tillage teknik (figur 9). Dette skyldes formodentligt, 1) at man i langt mindre grad bringer spiredygtige ukrudtsfrø til jordoverfladen, når man udelader pløjning, og 2) at de frø, der ligger på jordoverfladen efter høst af den forudgående afgrøde, ødelægges af mikroorganismer eller tjener som føde for insekter, gnavere og fugle. Nedvisning af efterafgrøden i marts måned har yderligere en reducerende effekt på ukrudtsmængden, men det er primært på overvintrende ukrudt mellem rækkerne, da ukrudtet i rækkerne bekæmpes ved såbedstilberedningen.



FIGUR 8.

ANTAL UKRUDTSPLANTER (PLANTER/M²) I FORSØG, SOM SAMMENLIGNER TRADITIONELT SÅBED (1 I FIGUR 1) (X-AKSEN) MED STRIP TILLAGE SÅBED (2 I FIGUR 1), HVOR DER KUN HARVES I DE KOMMENDE AFGRØDERÆKKER (Y-AKSEN). HVERT PUNKT ER EN PARVIS SAMMENLIGNING AF DE TO DYRKNINGSFORMER INDENFOR HVER FORSØGSBLOK.



FIGUR 9.
 ANTAL UKRUDTSPLANTER (PLANTER/M²) I FORSØG, SOM SAMMENLIGNER TRADITIONEL (1 I FIGUR 1) (X-AKSEN) OG STRIP TILLAGE DYRKNING (3 I FIGUR 1) (Y-AKSEN). HVERT PUNKT ER EN PARVIS SAMMENLIGNING AF DE TO DYRKNINGSFORMER INDENFOR HVER FORSØGSBLOK.

2.4.4 Konklusioner

- Nedmuldning af en mellemafgrøde af olieræddike umiddelbart før såning af vintersæd havde ingen signifikant effekt på fremspiringen og væksten af ukrudt.
- Tilsvarende havde dyrkning af en efterafgrøde af gul sennep og vinterrug efterladt på jordoverfladen ingen signifikant effekt på fremspiringen og vækst af ukrudtet i sukkerroer.
- Strip tillage reducerede fremspiringen af ukrudt sammenlignet med traditionel såbedstilberedning, hvad enten der var dyrket en efterafgrøde eller ej, hvilket indikerer, at effekten skal tilskrives det faktum, at der ikke er foretaget jordbearbejdning imellem rækkerne efter høst af den forudgående afgrøde.
- Med undtagelse af et enkelt forsøg, hvor nedvisningen af efterafgrøden var utilstrækkelig, blev der ikke observeret forskelle i sukkerroeudbyttet mellem traditionel såbedstilberedning og strip tillage.

2.5 Dynamik i bestanden af tokimbladet ukrudt gennem vækstsæsonen

I begge år fandtes de samme ni ukrudtsarter i tilstrækkeligt antal til at foretage en analyse af fremspiringen. Valget af tærskeltemperatur (T_0) havde ingen større betydning for den statistiske model, bortset fra hyrdetaske i 2011, hvor værdier over 2°C gav en markant dårligere model. Da der således ikke var nogen grund til at vælge forskellige T_0 -værdier for ukrudtsarterne, sættes $T_0=0^\circ\text{C}$ for alle arter i de videre beregninger.

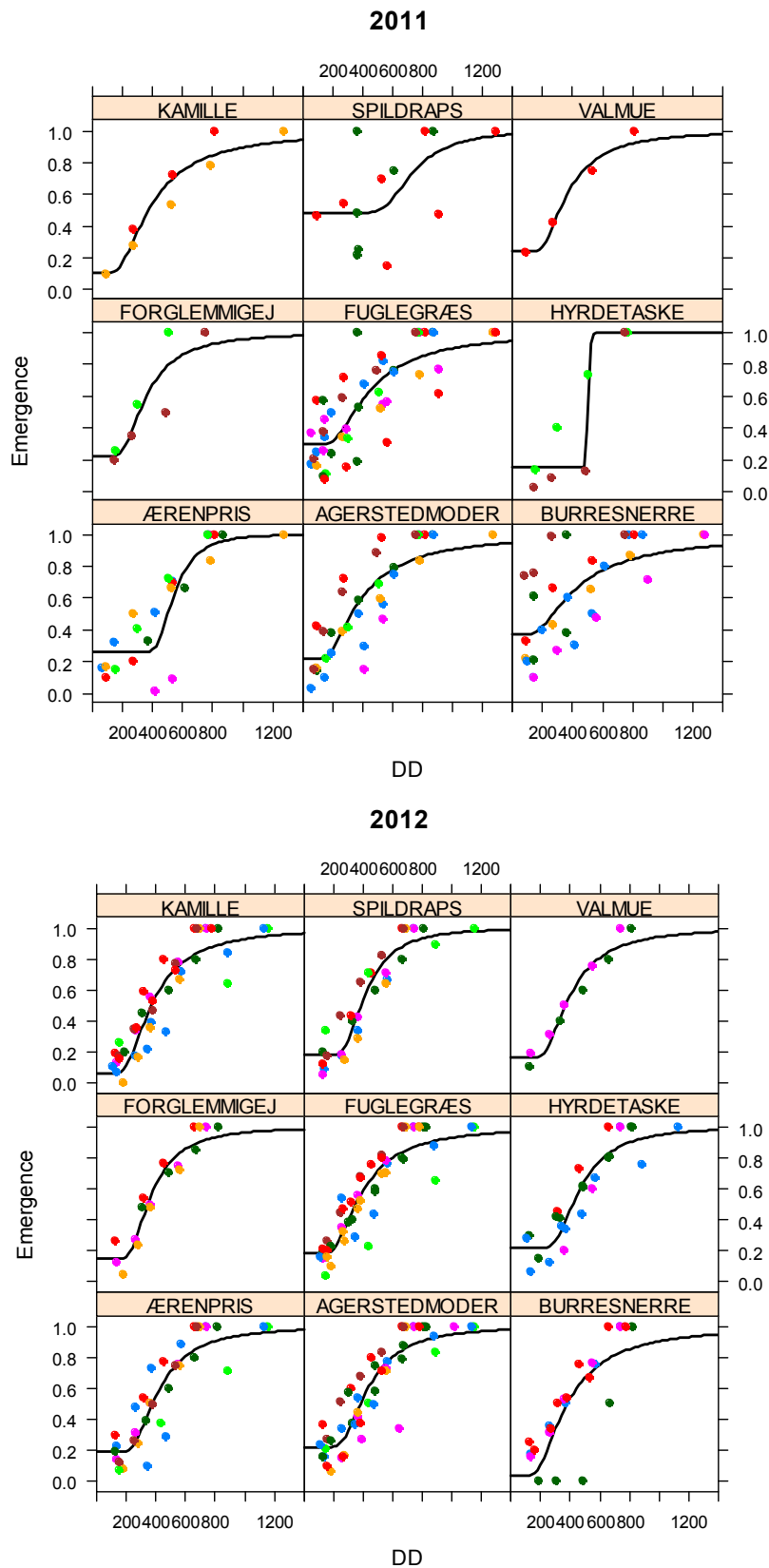
Fremspiringsmodellen gav generelt en mere præcis beskrivelse af arternes fremspiring i 2012 end i 2011. Dette fremgår af datas spredning omkring de estimerede fremspiringskurver (figur 10). Der var nogen variation i vinterfremspiringen mellem årene, bedømt ud fra parameterestimerne (data ikke vist). En forklaring af årsagerne til denne variation vil kræve yderlige empirisk arbejde til afklaring af jordbundklimatiske forhold, herunder jordtemperatur og jordfugt.

Fremspiring af sommerannuelle arter som vejpileurt og snerlepileurt kunne ikke beskrives med modellen. I begge år blev der observeret en stor spredning i fremspiringen. I 2011 blev der observeret snerlepileurt på 7 af de 12 lokaliteter med en spredning fra 31. marts til 23. maj, mens der i 2012 blev fundet snerlepileurt på 6 af 12 lokaliteter med en spredning fra 24. april til 13. juni. Vejpileurt blev tilsvarende observeret på 7 lokaliteter fra 7. april til 11. maj i 2011 og på 4 lokaliteter fra 8. april til 29. april i 2012.

Der er for alle arter af tokimbladet ukrudt fundet en betydelig dynamik i fremspiringen af ukrudt i løbet af perioden fra februar til først i juni. For 9 vinterannuelle arter har det været muligt at beskrive fremspiringskurver, der dækker hele perioden. På flere arealer blev der observeret sen fremspiring af de sommerannuelle arter vejpileurt og snerlepileurt. Resultaterne viser, at der for tidligt spirende vinterannuelle arter vil kunne opnås en god beskrivelse af den ukrudtsbestand, som skal bekæmpes, såfremt den fremskrives med potentiel fremspiring frem til sprøjtetidspunktet. Det vil være nødvendigt at supplere en tidlig monitorering med senere monitorering af sent fremspirende sommerannuelle arter som vej pileurt og snerlepileurt.

2.5.1 Konklusioner

- For alle arter af tokimbladet ukrudt er der fundet en betydelig dynamik i fremspiringen af ukrudt i løbet af perioden fra februar til først i juni.
- For i alt 9 vinterannuelle arter har det været muligt at beskrive fremspiringskurver, der dækker hele perioden.
- For tidligt fremspirende sommerannuelle arter som f.eks. vejpileurt kan der opnås en god beskrivelse af den ukrudtsbestand, som skal bekæmpes, såfremt den fremskrives med potentiel fremspiring frem til sprøjtetidspunktet, mens det vil være nødvendigt at supplere en tidlig monitorering med senere monitorering af sent fremspirende arter som f.eks. vejpileurt og snerlepileurt.



FIGUR 10. OBSERVERET FREMSPIRING (PUNKTER, HVER MARK SIN FARVE) OG STATISTISKE BESKRIVELSE VED WEIBULL-KURVE

2.6 Effekter af direkte metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af ukrudt i landbrugsafgrøder

2.6.1 Mekanisk ukrudtsbekæmpelse

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse bekæmper ukrudtet ved oprykning, tildækning med jord eller afskæring/afrivning af rødder/stængler/blade. Den nøjagtige virkningsmekanisme vil afhænge af redskabets udformning (Melander *et al.*, 2005).

Ukrudtsharvning i vårsæd

Ukrudtsharvning har været genstand for fornyet forskning specielt i Danmark, og der er også foregået en vis udvikling af selve redskabet. Effekten af ukrudtsharvning er meget afhængig af ukrudtets størrelse på bekæmpelsestidspunktet. Ukrudt på trådstadiet og frem til kimbladstadiet er nemmest at bekæmpe, mens det er betydeligt vanskeligere at opnå en høj bekæmpelseseffekt på større ukrudt. Ukrudtsharvning i korn, majs og bælgssæd kan udføres som blindharvning, alm. ukrudtsharvning og selektiv harvning (kun korn) enten alene eller i kombination (Rasmussen & Rasmussen, 1994).

Brandsæter *et al.* (2012) opnåede meget varierende bekæmpelseseffekter af blindharvning, alm. ukrudtsharvning og de to strategier i kombination i vårsæd. Eksempelvis varierede effekten af almindelig ukrudtsharvning mellem -7 og 56% i 8 forsøg. I forsøgene blev harvningerne udført efter en standardforskrift uden nærmere hensyntagen til afgrødens og ukrudtets udviklingstrin på bekæmpelsestidspunktet. Rasmussen (1991) har tidligere vist, at harveintensiteten skal tilpasses selektivitetsforholdene på bekæmpelsestidspunktet, således at uønskede afgrødeskader undgås. Gode selektivitetsforhold er typisk tilstede, når frøukrudtet er på tråd- til kimbladstadiet, og afgrødeplanterne samtidig er større og mere forankrede i jorden. I sådanne situationer er en moderat aggressivitet tilstrækkelig til at bekæmpe ukrudtet, og afgrøden påvirkes kun i ubetydelig grad. Dårlige selektivitetsforhold er kendetegnet ved afgrøde og ukrudt på samme udviklingstrin – her kan det være svært at undgå afgrødeskader, hvis ukrudtet skal bekæmpes tilfredsstillende. Rasmussen (1991) foreslog dækning af afgrøden med jord som et udtryk for harvningens intensitet; desto større afgrødetildækning, desto større ukrudtseffekt og risiko for afgrødeskade. Ved gode selektivitetsforhold i vårsæd, hvilket er ukrudt på kimbladstadiet, et moderat ukrudtstryk < 100 planter/m² og korn på 3-4 bladstadium, kan der opnås 70-80 % bekæmpelseseffekt uden væsentlige afgrødeskader med én almindelig ukrudtsharvning, der giver en afgrødetildækning på 10-20% (Rasmussen *et al.*, 2010). I tilfælde af meget høje ukrudtstryk og/eller stor forekomst af ukrudtsarter med strækningsvækst (f.eks. agersennep, alm. hanekro og højt voksende græsser) kan det være nødvendigt at anvende 2 eller alle 3 harvestrategier (blindharvning, alm. og selektiv harvning) i kombination for at opnå et bekæmpelsesniveau på 70-80% (Lundkvist, 2009; Rasmussen & Rasmussen, 1994; Rasmussen & Svenningsen, 1995).

Forebyggende strategier som f.eks. gødningsplacering (Rasmussen, 2002), udsæd med høj spireevne og vitalitet (Rasmussen & Rasmussen, 2000) og valg af konkurrencesterke kornsorter (Hansen *et al.*, 2007) kan også bidrage til et højt effektiveau ved at nedsætte antallet af fremspirede ukrudtsplanter og/eller fremme afgrødens vækst i forhold til ukrudtet.

Ukrudtsharvning i vinterhvede

I tidligere forsøg har ukrudtsharvning i vinterhvede været vanskeligere at udføre med samme succes som i vårsæd (Rasmussen, 1998). Hveden skades lettere ved harvning efter fremspiring om efteråret med udbyttenedgang til følge. Om efteråret er hveden ikke i særlig kraftig vækst og har derfor sværere ved at kompensere for den del af bladene, der bliver tildækket ved harvning. Forholdene for gennemførelse af ukrudtsharvning kan ligeledes være vanskelige om efteråret. Om foråret er vinterhveden normalt mere robust, men ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst (f.eks. lugtløs kamille og kornvalmue) bekæmpes for dårligt ved ukrudtsharvning

(Rasmussen, 1998). Tidlig ukrudtsharvning om foråret har i danske forsøg givet 40-70% bekæmpelse af bundkrudtsarter som ærenpris, agerstedmoder, og fuglegræs, og blev der suppleret senere om foråret med selektive harvninger, kunne effektniveauet hæves til mere end 70% (Rasmussen, 1998). Resultaterne fra Rasmussen (1998) er ret konsistente, men i andre forsøg har resultaterne været mere svingende (bl.a. Welsh *et al.*, 1996).

Samspillet mellem ukrudtseffekt, afgrødeskade og overvintring er imidlertid ikke entydigt, da nyere forsøg gav ganske gode resultater med harvning udført enten efterår eller forår selv mod vanskelige ukrudtsarter med strækningsvækst (Rueda-Ayala *et al.*, 2011). Her var det muligt at opnå 80% bekæmpelseeffekt uden væsentlige afgrødeskader. Harveintensiteten for opnåelse af den høje effekt blev beregnet ud fra jordtildækningen af afgrøden, som varierede fra 6-26% ved 80% ukrudtseffekt afhængig af lokalitet, afgrødens udviklingstrin og ukrudtsflora.

Ukrudtsharvning i bælgسæd

Tilsvarende som i vårsæd kan der opnås 60-80% bekæmpelseeffekt mod en blandet bestand af tokimbladede ukrudtsarter i lupiner og ærter, uden at bælgسæden skades i væsentlig grad (Jensen *et al.*, 1999; Lundkvist, 2009). Jensen *et al.* (2004) udviklede tilsvarende analysekoncept til lupiner som til vårsæd til beskrivelse af sammenhænge mellem ukrudtseffekt, afgrødeskade og jordtildækning. Ærter skades ved harvning på senere udviklingstrin, hvor klatretråde begynder at udvikles, og kun tidlige harvninger er derfor muligt (Rasmussen, 1993).

Ukrudtsharvning og flammebehandling i majs

Ukrudtsharvning i majs er også muligt på sandjord, men anvendes redskabet alene, skal der udføres temmelig mange kørsler for at opnå mere end 90% bekæmpelseeffekt (Melander *et al.*, 1995). Harvningerne følger ikke de samme principper som i korn og bælgسæd men udføres typisk som 1-2 blindharvninger efterfulgt af forsigtige behandlinger efter majsens fremspiring. Antallet af harvninger kan nedbringes, hvis ukrudtsharvning kombineres med hypning af ukrudt i rækken ved hjælp af en kartoffelhypper eller stjernerullerenser (Mikkelsen *et al.*, 2002). Normalt er det ukrudt i majsrækken, som er svær at bekæmpe tilfredsstillende, da mangelfuld bekæmpelse mellem rækkerne kan klares med almindelig radrensning. Erfaringerne med mekanisk ukrudtsbekæmpelse i majs på lerjord er generelt mindre gode (Mikkelsen *et al.*, 2002).

I majs er det også muligt at anvende flammebehandling både før og efter majsens fremspiring. Det er en metode, som har vundet stor indpas i den økologiske majsdyrkning. Efter fremspiring kan majsens brændes på 3-5 bladstadiet med begrænsede afgrødeskader (0-5%) (Ulloa *et al.*, 2011; Videncentret for Landbrug, 2011). Afsluttes en ikke-kemisk strategi baseret på flammebehandling med hypning, kan der opnås en ganske høj bekæmpelseeffekt (omkring 90%), men strategien er dyrere end mekaniske strategier.

I Holland har man udviklet et IPM-koncept med falsk såbed og blindharvninger i majs efterfulgt af herbicidspøjtninger med nedsatte doseringer. Effekterne er på højde med de almindelige herbicidprogrammer, når gode forhold for gennemførelse af den mekaniske bekæmpelse er til stede (upublicerede resultater fra ENDURE projektet). Harvning før majsens fremspiring vil bevirke, at ukrudtet er nedsat i antal og forsinket i deres vækst, hvilket gør det muligt at opnå en høj effekt med nedsatte doser.

Radrensning i korn

Radrensning er ikke nær så krævende som ukrudtsharvning med hensyn til timingen af handlingerne i forhold til ukrudtets udviklingstrin, idet ukrudt med flere løvblade kan bekæmpes i tørre vejrperioder. Effekterne er også langt bedre mod ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst end ukrudtsharvning, men kun hvor radrenserens arbejder. I danske (vårbyg og vinterhvede) og svenske (kun vårbyg) undersøgelser med radrensning i konventionelt dyrket korn har der været opnået gode bekæmpelseeffekter ved 1-2 behandlinger, og radrensningen

kunne gennemføres uden nævneværdige skader på afgrøden (Rasmussen & Pedersen, 1990; Johansson, 1998; Melander *et al.*, 2003). Rækkeafstandsforøgelsen fra 12 til 20 eller 24 cm, som var nødvendig for at gennemføre radrensningen, gav i de danske undersøgelser udbyttenedgange på 0-12% under forudsætning af, at udsædsmængden pr. ha blev bibeholdt.

I forsøg med udsædsmængde, rækkeafstand, gødningsplacering og radrensning i vinterrug og vinterbyg blev der opnået høje bekæmpelseseffekter. En forbedring af kornets konkurrenceevne mod ukrudt i selve kornrækken gennem en øget plantebestand eller ved placering af gødningen øgede bekæmpelseseffekterne af mekanisk bekæmpelse med 20-30%, således at de samlede effekter var tæt på niveauet for kemisk bekæmpelse. Også mod ukrudtsarter med pælerods- og strækningsvækst blev der opnået gode bekæmpelseseffekter i størrelsesordenen 65-90%. Ukrudtsharvning udført lige efter radrensning, og med samme hastighed som denne forbedrede bekæmpelseseffekterne med 17-30% sammenlignet med kun radrensning. En øgning af rækkeafstanden til 24 cm's rækkeafstand medførte generelt et udbyttetab på 9-12% i vinterbyg og 4-6% i vinterrug i forhold til 12 cm's rækkeafstand (Melander *et al.*, 2001). Sammenlignet med ukrudtsharvning kræver radrensning i korn meget præcis styring af redskabet for at undgå skader på kornet, og arbejdskapaciteten er ikke nær så høj med den nuværende teknologi.

Radrensning i raps

Radrensning kan gennemføres i vinterraps med et godt resultat, når rapsen sås på 50 cm's rækkeafstand i stedet for de normale 12,5 cm. Gennemføres der 2-3 radrensninger, 1-2 om efteråret og 1 tidligt forår, kan der opnås en tilfredsstillende ukrudtsbekæmpelse med ca. 80% bekæmpelseseffekt. En nylig gennemført Farmtest bekræfter tidligere forsøg og praktiske erfaringer, at radrensning i mange tilfælde kan erstatte kemisk bekæmpelse (Pedersen & Petersen, 2011). Spildkorn og store forekomster af lugtløs kamille kan dog volde problemer i rækken, hvor radrenseren kun har ringe effekt. Disse arter kan blive særlig problematiske i de tilfælde, hvor rapsen etableres dårligt, og væksten hæmmes af vejrliget.

Stjernerullerrensning i kartofler

Ukrudt i kartofler kan bekæmpes effektivt med en stjernerullerenser med blot én behandling. Det har en tidligere forsøgsserie ret entydigt vist (Rasmussen & Rasmussen, 2003). Her blev der anvendt en stjernerullerenser på forsøgsgjorderne ved Jyndevad (JB1) og Flakkebjerg (JB6). Med én behandling udført omkring kartoflernes fremspringstidspunkt var det muligt at opnå en bekæmpelseseffekt på over 90% mod almindelige frøukrudtsarter som f.eks. hvidmelet gåsefod og snerle-pileurt. Frøukrudtet havde typisk udviklet to blivende løvblade på bekæmpelsestidspunktet. Flere behandlinger med stjernerullerenseren øgede effekten men var unødvendig set i forhold til det øgede tidsforbrug.

2.6.2 Oversigt over bekæmpelseseffekter og deres variabilitet

Tabel 9 sammenfatter effekterne af de mest relevante ikke-kemiske løsninger til ukrudtsbekæmpelse i de store landbrugsafgrøder. Effektangivelserne er baseret på gode forhold for metodernes gennemførelse. Det er typisk stenfri, jævne og bearbejdelige marker, tørre vejrforhold og en lav forekomst af rodukrudt samt veletablerede og optimalt gødede afgrøder. Effekterne dækker over de gennemsnitlige effekter opnået i forsøgene, som typisk vil ligge indenfor de angivne intervaller. Variationen er mest udtryk for forekomsten af ukrudtsarter med strækningsvækst, som især har betydning ved ukrudtsharvning.

I tabellen er der også angivet variationsbredder, som viser, hvordan bekæmpelseseffekterne kan falde ud, når de ikke er gennemført under optimale forhold, eller når der er forhold eksempelvis jordtyper, hvor der ikke er klarhed over, hvordan bekæmpelsen bedst gennemføres. Tallene stammer fra forsøg. Det er primært de nedre værdier i variationen, som er interessante, fordi de afspejler en risiko for svage eller i værste fald ingen effekter

TABEL 9.
 RELEVANTE IKKE-KEMISKE LØSNINGER TIL BEKÆMPELSE AF FRØUKRUDT I LANDBRUGSAFGRØDER MED
 ANGIVELSE AF ANTAL NØDVENDIGE BEHANDLINGER, BEKÆMPELSESEFFEKTER OG VARIATIONSBREDDER SAMT
 LØSNINGERNES EFFEKTMÆSSIGE SVAGHEDER OVERFOR VISSE UKRUDTSARTER.

Afgrøde	Ukrudtssituation	Metode/strategi	Antal træk i alt	Bekæmpelseseffekt (%)	Variationsbredde, % effekt	Svagheder
Vårsæd	Lavtvoksende arter (f.eks. ærenpris, agerstedmoder, fuglegræs)	Almindelig ukrudtsharvning	1	70-80	0-90	Arter med strækningvækst (f.eks. kamille, ager-sennep, græsukrudt)
	Få højt voksende arter (f.eks. kamille, hanekro, ager-sennep, græsser)					
	Høj forekomst af arter med strækningvækst (f.eks. kamille, hanekro, ager-sennep, græsser)	Blindharvning + alm. ukrudtsharvning	2-3	60-80	0-90	Ager-sennep og græsukrudt
Vintersæd	Lavtvoksende arter (f.eks. ærenpris, agerstedmoder, fuglegræs, hyrdetakse).	Forår: alm. ukrudtsharvning + selektiv ukrudtsharvning	2	40-70	40-80	Arter med strækningvækst (f.eks. kamille og græsukrudt)
	Få højt voksende arter (f.eks. kamille, græsser)					
	Høj forekomst af arter med strækningvækst (f.eks. kamille, kornvalmue, spildraps, græsser)	Forår: radrensning 20-24 cm's rækkeafstand + selektiv ukrudtsharvning	2	60-90, højest effekt i rug og vinterbyg	40-95	Ukrudt i kornrækken med strækningvækst (f.eks. kamille og græsukrudt)
Ært/lupin	Frøukrudt generelt	Blindharvning + alm. ukrudtsharvning	2	60-80	20-95	Ager-sennep og spildraps
Vinterraps	Frøukrudt generelt	Radrensning, 50 cm's rækkeafstand	2-3	70-80	Få data	Spildkorn og kamille i rapsrækken
Majs	Frøukrudt generelt	Falsk såbed + 1 x blindharvning + 2 x alm. ukrudtsharvning + 2 x hypning	5	70-90 på sandjord, lavere effekt på lerjord	Få data	Kolde forår, hvor majsens vokser langsomt
	Frøukrudt generelt	Falsk såbed + 1x flammebehandling før fremspiring + 1 x flammebehandling på majsens 3-4 bladstadium + hypning (1x)	3	80-90	70-100	Græsukrudt
	Frøukrudt generelt	Flammebehandling før fremspiring og igen på 3-5 bladstadiet	2	80-90	70-100	Græsukrudt
Kartofler	Frøukrudt generelt	Stjernerullerensning	1-2	90-100	80-100	Ingen væsentlige

Kigger man på variabiliteten i forsøgsresultaterne på tværs af redskabstyperne, er det tydeligt, at variabiliteten aftager fra de lette ukrudtsharver til stjernerullerenseren, som fremviser den største effektstabilitet. Stjernerullerenseren er et kraftigere redskab, som flytter betydeligt større mængder jord end ukrudtsharven. Radrenerskær indtager en mellemposition, hvor effektudfald primært skyldes genvækst forårsaget af fugtige forhold efter behandling. Men i modsætning til ukrudtsharvning vil der med radrenerskæret være mulighed for en genbehandling senere, da ukrudtets størrelse ikke er nær så afgørende for effekten.

Til majs er der angivet strategier, som foruden mekaniske metoder også indeholder termiske i form af flammebehandling. Der er desværre kun meget få resultater til rådighed, som kan belyse variabiliteten i den samlede effekt af sådanne strategier. Det gælder for brænding mod ukrudt som for ukrudtsharvning, at ukrudtets størrelse på bekæmpelsestidspunktet er helt afgørende for resultatet, hvis effekten skal opnås med et normalt gasforbrug (Ascard *et al.*, 2007). Variabiliteten i bekæmpelseeffekter ved flammebehandling er nødvendigvis ikke særlig stor, men gasforbruget kan altså mere end fordobles ved dårlig timing af behandlingen. En væsentlig fordel ved flammebehandling sammenlignet med eksempelvis ukrudtsharvning er, at behandlingen kan gennemføres selv under fugtige vejrforhold.

2.6.3 Konklusioner

- Ukrudtsharvning i korn og bælgæd er den ikke-kemiske bekæmpelsesmetode, som er behæftet med størst usikkerhed effektmæssigt såvel som risiko for at påføre afgrøden alvorlige skader, og i IPM sammenhæng kan metoden ikke stå alene.
- I vinterraps dyrket på øget rækkeafstand er der potentiale for en større implementering af radrensning end for nuværende, selv om ukrudt i rækken stadig kan være en udfordring. I andre rækkeafgrøder er radrensning også en effektiv bekæmpelsesmetode.
- Stjernerullerensning i kartofler har allerede vist sit potentiale over for enårigt ukrudt, og en forsigtigt vurdering er, at herbicidanvendelsen kan reduceres med 50% ved en mere udbredt implementering af metoden. Den væsentligste ulempe er risikoen for skader på kartoflerne ved forkert anvendelse og indstilling af redskabet.

2.7 Koncept for beslutningsstøttesystem som kan vejlede om integreret ukrudtsbekæmpelse

2.7.1 Modeller i beslutningsstøtte

I forbindelse med dette projekt var udfordringen, hvordan vi kan udvikle et BSS-ukrudt til at sikre anvendelsen af bæredygtige strategier for ukrudtsbekæmpelse. En bæredygtig strategi sætter vi til at være en, der sikrer en stabil indtægt til landmanden, en stabil primærproduktion og et acceptabelt niveau for forringelsen af det naturlige økosystem. I konventionelt jordbrug vil dette sige en velgennemtænkt anvendelse af herbicider. Det rette herbicid bør anvendes, men kun når det er nødvendigt og i rette dosering, på rette tidspunkt og sted. I økologisk jordbrug er landmanden tvunget til at anvende en bredere vifte af mindre effektive bekæmpelsesmetoder (Barberi, 2002). I alle tilfælde vil landmanden have gavn af at forebygge ukrudt ved at anvende et varieret sædskifte og et varieret udvalg af bekæmpelsesmetoder (Buhler, 2002; Colbach & Debæke, 1998; Gressel, 2011).

Under forudsætning af, at simuleringsmodellen udstyres med en god brugergrænseflade, kan en simuleringsmodel af ukrudtsbekæmpelse muligvis blive et nyttigt redskab til udvikling af nye strategier for ukrudtsbekæmpelse. Spørgsmålet er, hvorledes et sådant BSS-ukrudt skal fungere i forhold til slutbrugere, som er landmænd, konsulenter og beslutningstagere. Den grundlæggende vanskelighed består i, at værktøjet nødvendigvis må kombinere elementer fra to forskellige fagområder: ukrudtsøkologi og datalogi. I det følgende overvejes brugssituation for BSS-ukrudt for forskellige slutbrugere.

2.7.2 Ukrudtsmodellerne i beslutningsstøtte

Den matematiske model, som er indlejret i BSS-ukrudt, skal repræsentere virkeligheden, baseret på aktuel viden fra teori og praksis. Modellen skal have den rette detaljeringsgrad for at kunne svare på brugerens spørgsmål, og den skal indbefatte de essentielle egenskaber af det virkelige system. Hvorfor for eksempel antage, at landmænd har ubegrænset tid og udstyr til rådighed og ikke har andre skadevoldere end ukrudt at bekymre sig om (Norris *et al.*, 2003), når en hvilken som helst landmand ville finde dette absurd? Hvorfor antage, at vejret hvert år vil være gennemsnitligt (Cousens, 1995), når vi ved, at det præcise tidspunkt for nedbør er afgørende for resultatet af konkurrencen mellem afgrøde og ukrudt? Hvorfor overveje dynamikken i en gennemsnitlig kvadratmeter af en mark, når vi ved, at ukrudt vokser i klumper (Cousens & Woolcock, 1997)? Hvorfor se bort fra, hvad der sker med de få ukrudtsplanter, der overlever behandling; når det trods alt er dem, der viderefører generne (Dekker, 1997)? Modellører må lære, at det at oplyse hvilke antagelser, der ligger bag en model, blot er en nødvendig, men ikke tilstrækkelig, betingelse for at opstille fornuftige modeller.

Tænk på en perfekt model. Den forudsiger ukrudtsdynamikken præcist, når den afprøves mod historiske data. En følsomhedsanalyse viser imidlertid, at vejret er den altafgørende faktor. I dette tilfælde har modellen givet en værdifuld indsigt i ukrudtsøkologi, men i mange områder i verden kan den ikke anvendes som et redskab til forudsigelse, da vejret ikke er til at forudsige nogle få uger frem, og da vejret på de forskellige årstider kan variere markant fra år til år. Selvom vi ikke har set mange modeller, der nærmer sig det perfekte, så ved vi med sikkerhed, at resultatet af konkurrencen mellem afgrøde og ukrudt i mange systemer afhænger af vejret på en særdeles ikke-lineær (voldsom og abrupt) måde (Stratonovitch *et al.*, 2012). I ukrudtssystemer, som er meget uforudsigelige på grund af vejret, er det en særlig udfordring at udarbejde et brugbart BSS-ukrudt.

2.7.3 Softwaren i beslutningsstøtte

Beslutningsstøttesystemer og simuleringmodeller er ofte komplicerede softwarekonstruktioner. Modeller af ukrudtsbekæmpelse udvikles oftest af agronomer og biologer, somme tider med inddragelse af økonomer og sjældnere endnu med inddragelse af dataloger. Softwarens kompleksitet, kombineret med modellørernes naivitet, er imidlertid en udbredt kilde til dårligt software design i simuleringmodeller (Merali, 2010). Dette går ud over både den faglige kvalitet og brugbarheden af softwaren. Derfor er det vigtigt, at BSS-ukrudt udvikles efter en standard systemudviklingsmetode som for eksempel *agile software development* (Martin, 2006). For at bedømme modellens kvalitet må den have været igennem et *peer review* ligesom en videnskabelig artikel, og den må være *open source* for, at modellens kode kan granskes (Holst, 2013).

De forskellige brugergrupper, der er skitseret ovenfor, vil stille forskellige krav til brugergrænsefladen: hvordan man konkret interagerer med modellen, hvilke input der er nødvendige, hvilke output der er til rådighed, og hvordan de præsenteres. Ofte falder den brugergruppe, der sigtes mod, sammen med ens egen, som for forskeren, der udvikler modeller til brugere i den akademiske verden. Men for de brugere, der er i fokus for BSS-ukrudt, er et direkte samspil med målgruppen under hele softwareudviklingsprocessen et *sine qua non*. Ellers vil der ikke være nogen brugere endside købere til det færdige produkt (Beck *et al.*, 2001).

2.7.4 RIM: En E-læringsplatform til integreret ukrudtsbekæmpelse

RIM er en e-læringsplatform udviklet i Australien som et læringsværktøj i integreret ukrudtsbekæmpelse (Pannell *et al.*, 2004). Softwaren udgøres af et dynamisk regneark, som fører brugeren gennem simple trin, hvorved dyrkningssystemet defineres, og resultatet i form af udbytte, dækningsbidrag og ukrudtets bestandsdynamik beregnes. RIM anvendes som undervisningsværktøj på temadage og ERFA-gruppemøder for landmænd, og der er lagt stor vægt på at anvende begreber og praktiske metoder, som landmændene finder relevante, og som kan indgå i sammensætningen af strategier for integreret ukrudtsbekæmpelse.

Hvis vi ser på, hvorledes et RIM-lignende system kunne udvikles til danske forhold, er den væsentligste forskel, at RIM fokuserer på blot én ukrudtsart. I Danmark har vi en mere sammensat ukrudtsflora med flere potentielle problemarter. Det vil derfor være en udfordring både landbrugs- og IT-fagligt at udvikle et RIM-værktøj til danske forhold, men det synes at være muligt på det nuværende vidensgrundlag. I det følgende gives en oversigt over de elementer i dyrkning og ukrudtsbekæmpelse, som brugeren skal jonglere med i det nuværende RIM samt forslag til supplerende elementer i en dansk RIM-version, baseret på viden fra litteraturen og fra nærværende projekt. Skærmbillederne fra RIM viser standardopsætningen af systemet.

I trin 1 skal mark, afgrøder og bekæmpelsesmetoderne defineres. Parametrene omfatter både dyrkningsmæssige, praktiske og økonomiske aspekter (figur 11):

1. DEFINE Paddock

Main parameters

	Wheat	Barley	Canola	Legume	Hay	Silage	Bales	Sheep
Weed-free yields	2.0	2.2	1.3	1.0				
Grain prices	220	200	550	240				
Production costs	40	40	5					
Fodder prices	90	80	50					
Yield benefit from dry seeding	5 %	2 %	10 %	5 %				
Yield loss if delayed seeding	10 %	5 %	20 %	10 %				
Operation cost of sprayer			4.5					
Average area cropped			2 000					
Animal Gross Margin			30					
Mature ryegrass last spring:			5					

Control options

	Wheat & Barley	Canola & Legumes	Pastures	Wheat & Barley	Canola & Legumes	Pastures	
Knock-down herbicides	Glyphosate	6	6	4	95%	95%	95%
	Paraquat	8	8	6	95%	95%	95%
Double-knock herbicides	Glyphosate/Paraquat	12	12	10	100%	100%	100%
Pre-emergence herbicides	Trifluralin	12	12		70%	70%	
	Group B	5			85%		
	Sakura	35			90%		
	Boxer Gold	30			85%		
Post-emergence herbicides	Triazine		10	5		70%	50%
	Group A	18	10	10	70%	60%	40%
	Triazine		8			70%	
	Triaz + Gp A		14			80%	
	Glyphosate		8			85%	
Group B			12			65%	

Save Profile

Paddock name: Default
 Your name: Susceptible

SAVE LOAD
 SAVE LOAD
 SAVE LOAD Resistant, Non-selectiv
 SAVE LOAD Resistant, Gp. A B C
 CLEAR LOAD Susceptible, Default

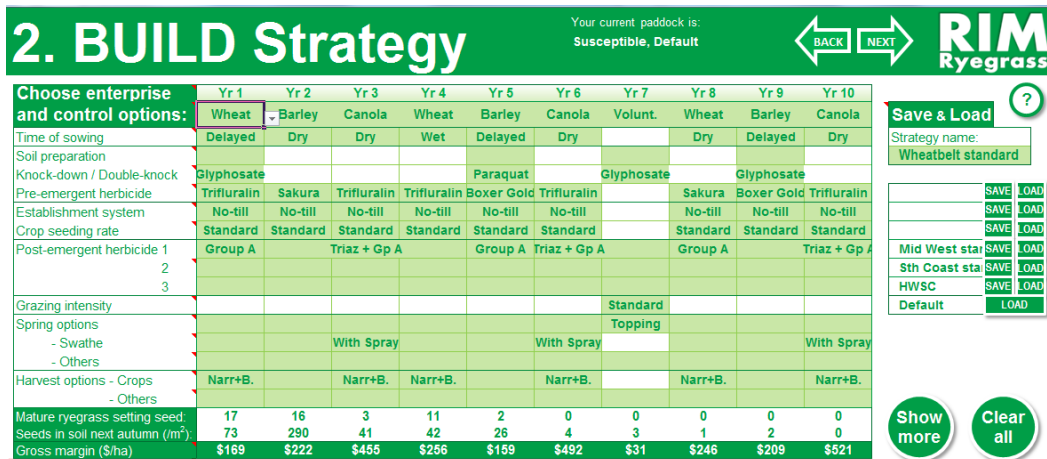
FIGUR 11. TRIN 1 I RIM-MODELLEN: VALG AF MARK, AFGRØDER OG BEKÆMPELSESMETODER (FRA WWW.AHRI.EDU.AU/RESEARCH/RIM).

Nederst på siden ses muligheder for at definere alternative bekæmpelsesmetoder ("additional control options"). I Australien kan det for eksempel være stubafbrænding. For danske forhold skulle der udarbejdes et større katalog af muligheder, som man her kunne slå op i og vælge blandt: Forsinket såtidspunkt. Vi fandt, at forsinket såning kan nedsætte spireevnen af ukrudtsfrø (AP2), samt at det kan forbedre afgrødens konkurrenceevne i forhold til ukrudtet (AP3). Dette stemmer overens med tidligere undersøgelser (Chikowo *et al.*, 2009).

Vi fandt, at mellem- og efterafgrøder har en ringe ukrudtseffekt (AP4), hvorfor man eventuelt bør udelade disse to metoder.

Ved et litteraturstudium kortlagde vi en lang række ikke-kemiske løsninger til bekæmpelse af frøukrudt (tabel 9), som alle bør indgå i bekæmpeskataloget.

I RIMs trin 2 (figur 12) defineres sædskiftet samt den ønskede kombination af de bekæmpelsesmetoder, som man definerede i trin 1:



FIGUR 12.
TRIN 2 I RIM-MODELLEN: VALG AF SÆDSKIFTE OG BEKÆMPELSESMETODER (FRA WWW.AHRI.UWA.EDU.AU/RESEARCH/RIM).

Der er ingen tvivl om, at sædskiftet i sig selv er meget vigtig i integreret ukrudtsbekæmpelse (f.eks. Bohan *et al.*, 2011), og at det derfor er et essentielt element i RIM.

I det tredje og sidste trin i RIM, som ikke vises her, præsenteres brugeren for resultatet af hans strategi. Det meget simple softwaredesign af RIM vil kunne bibeholdes i en dansk RIM, men det ville være nødvendigt at tilføje et trin, hvor brugeren kan vælge den relevante ukrudtssammensætning.

2.7.5 Konklusioner

- BSS-ukrudt skal udvikles efter en standard systemudviklingsmetode som for eksempel *agile software development*.
- BSS-ukrudt skal defineres og udvikles i samspil med slutbrugeren (landmand, konsulent, embedsmand).
- Modeller til BSS-ukrudt skal være videnskabeligt baserede og tilpasset formålet med BSS-ukrudt.
- Det australske RIM-software er et godt udgangspunkt for et dansk BSS-ukrudt.

3. Diskussion

EUs tematiske strategi om en bæredygtig anvendelse af pesticider stiller krav om, at alle professionelle brugere af pesticider skal følge de 8 generelle principper for bekæmpelse af skadegørere. De 8 IPM principper er opbygget kronologisk startende med forebyggelse (IPM princip 1), monitorering af skadegørere (IPM princip 2), behovsvurdering (IPM princip 3), muligheder for at anvende ikke-kemiske behandlingsmetoder (IPM princip 4), optimal anvendelse af pesticider (IPM principper 5, 6 og 7) og afsluttende med en evaluering af indsatsen (IPM princip 8). Arbejdspakke 1 til 6 har adresseret forskellige aspekter indeholdt i de 3 af IPM principperne (IPM principper 1, 2 og 4), mens arbejdsopgave 7 har haft til formål at bidrage til konceptudvikling af et værktøj, som kan rådgive om de forskellige IPM tiltags effekter anvendt alene og i kombination.

I dette projekt er der valgt to forskellige tilgange til dataindsamling. For sædskiftets betydning for integreret ukrudtsbekæmpelse og ikke-kemisk bekæmpelsesmetoder er der udført litteraturstudier, fordi resultaterne af sædskifteforsøg i 3-årigt projekt er begrænset, og for de ikke-kemisk metodens vedkommende, fordi der foreligger resultater fra mange tidligere undersøgelser. Omvendt har vi eksperimentelt undersøgt potentielle IPM værktøjer, hvor der foreligger meget lidt viden (indflydelse af klimaforholdene på frø af ukrudtsgræssers primære spirehvide, tidlig monitorering af ukrudt), hvor der foreligger viden omkring de enkelte tiltags effekt men ikke deres samlede effekt (sen såning + udsædsmængde + rumlig fordeling af afgrøden og efterafgrøder i kombination med "strip tillage") samt endelig mellemafgrøder, som var et nyt tiltag i vandmiljøplanen, da projektet blev initieret.

3.1 IPM princip 1: Forebyggelse

"Forebyggelse er bedre end helbredelse" siger et gammelt ordsprog, og det er ikke tilfældigt, at forebyggelse er det første IPM princip, da netop forebyggelse, det vil sige udvikling af dyrkningssystemer som er mere robuste over for skadegørere, skal være første skridt i en IPM strategi. Af de 7 arbejdsopgaver fokuserer de 3 da også på forebyggende tiltag (arbejdsopgave 1, 3 og 4).

Hvilke enårige ukrudtsarter, der forekommer i marken, afhænger i vid udstrækning af, hvilke afgrøder, der dyrkes, mens forekomsten af flerårige ukrudtsarter er mindre påvirket af afgrødevalg (Blackshaw *et al.*, 2007; bilag 1). Sædskiftet eller afgrødefølgen er derfor af afgørende betydning for ukrudtsfloraens sammensætning. Et ensidigt sædskifte fører til en ensidig ukrudtsflora, hvor enkelte ukrudtsarter kan blive så dominerende og forekomme i så stort et antal, at selv en meget høj bekæmpelseseffekt ikke er tilstrækkelig til at forhindre en fortsat opformering af bestanden. En opformering af enkelte ukrudtsarter øger også risikoen for herbicidresistens, da sandsynligheden for at finde resistente biotyper i en population øges med populationens størrelse. I et varieret sædskifte med både vår- og vinterafgrøder og/eller enårige og flerårige afgrøder vil der ikke ske en tilsvarende opformering af enkelte ukrudtsarter, og risikoen for selektion af herbicidresistente biotyper er mindre.

3.1.1 Sædskifte

Sædskiftet er den vigtigste forebyggende dyrkningsparameter og derfor en hjørnesten i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi (se tabel 7 i bilag 1). Sædskiftet er imidlertid også afgørende for økonomien i planteproduktionen og/eller forsyningssikkerheden med foder. På ejendomme, som ikke har mulighed for at dyrke specialafgrøder, optimeres økonomien ved en høj andel af vintersæd især vinterhvede, da udbyttet på de fleste jordtyper er højere end af vårafgrøder. Omkostningerne til gødning og pesticider er højere i vintersæd end i vårsæd, men udgifterne mere end opvejes af det højere udbytte.

Blandt vintersædsarterne er især vinterrug et attraktivt alternativ på grund af dens større konkurrenceevne (Blackshaw *et al.*, 2007), og samtidig er udbyttet af vinterrug mindre påvirket af såtidspunktet end vinterhvede og –byg. Med de nyere vinterrugsorter er det muligt at opnå høje udbytter på de lerholdige jorde, og fodringsforsøg indikerer, at vinterrug kan indgå med en højere andel i foder til svin, end hidtil antaget ([https://dyrk-plant.dlbr.dk/Web/\(S\(ywcwoaypiioddzw4h5ot2e2y\)\)/forms/Main.aspx?page=Vejledning&cropID=77](https://dyrk-plant.dlbr.dk/Web/(S(ywcwoaypiioddzw4h5ot2e2y))/forms/Main.aspx?page=Vejledning&cropID=77)). Vinterrug er derfor et interessant alternativ til f.eks. 2. års vinterhvede på mindre lerholdige jordtyper. I efteråret 2014 vil der foreligge resultater fra et sædskifteforsøg på Flakkebjerg, hvor effekten af at introducere vinterrug over for ager-rævehale er undersøgt, det vil sige effekten af at introducere vinterrug i sædskiftet vil blive kvantificeret.

Vinterraps sået på rækker, hvor ukrudtsbekæmpelsen foretages med radrenser, er også et interessant alternativ, fordi herbicidforbruget er mindre men også med henblik på at forebygge herbicidresistens.

3.1.2 Sen såning

Hvis vinterafgrøder indgår med en høj andel i sædskiftet kan alternative forebyggende foranstaltninger være sen såning, øget udsædsmængde og en ændring af afgrødens rumlige fordeling. Resultaterne fra dette projekt, som underbygges af resultater fra tidligere undersøgelser, viste, at sen såning er en effektiv måde at mindske bestanden af en række tabsvoldende ukrudtsarter såsom de enårige græsukrudtsarter ager-rævehale, vindaks og væselhale (se bilag 3). Der blev opnået mellem 40 og 70 % reduktion af ukrudtsbiomassen ved at udskyde såning ca. 3 uger fra sidste halvdel af september til midten af oktober, og der er således tale om en meget markant effekt.

I marker med store bestande af de ovenfor nævnte græsukrudtsarter vil udbyttetabet som følge af sen såning opvejes af et mindre udbyttetab som følge af den mindre ukrudtsbestand. Ved forekomst af græsukrudt vil der i praksis næsten altid blive bekæmpet ukrudt i efteråret uanset såtidspunkt for at forebygge udbyttetab og opformering af ukrudt, men ved sen såning kan herbiciddoserne nedsættes. En 3-årig forsøgsserie ved de landøkonomiske foreninger med bekæmpelse af ager-rævehale har vist, at ved store forekomster af ager-rævehale er selv en effektiv ukrudtsbekæmpelse ikke altid tilstrækkelig til at undgå udbyttetab ved tidlig såning, og sen såning var i disse situationer den økonomisk mest rentable løsning (Pedersen & Pedersen, 2013, tabel 19).

3.1.3 Afgrødetæthed, afgrødens rumlige fordeling og sortsvalg

Den anbefalede afgrødetæthed i vinterhvede er 225 planter m^{-2} ved såning i første halvdel af september, 325 planter m^{-2} ved såning i sidste halvdel af september og 400 planter m^{-2} ved såning i oktober (www.landbrugsinfo.dk). En forøgelse af afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} reducerede ukrudtsbiomassen med 40 til 65% (se bilag 3). I alle forsøg er der observeret en næsten lineær sammenhæng imellem afgrødetæthed og ukrudtsbiomasse. I tidligere forsøg er der også observeret signifikante effekter af at øge afgrødetætheden (Lemerle *et al.*, 2004; Lutman *et al.*, 2013).

Foruden en større udgift til udsæd kan en øget afgrødetæthed også resultere i et større behov for svampebekæmpelse og vækstregulering. En afgrødetæthed på 800 planter m^{-2} er ikke interessant

for praksis, men en forøgelse af de anbefalede afgrødetætheder med ca. 100 planter m⁻², som i de to forsøg har reduceret ukrudtsbiomassen med 15% kunne være et element i integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi. I et igangværende sædskiftforsøg, som er et led i EU projektet PURE, har en fordobling af udsædsmængden ved sen såning i forhold til tidlig såning imidlertid ikke resulteret i øgede problemer med sygdomme og lejesæd.

Afgrødens rumlige fordeling havde ingen effekt på vinterhvedens konkurrenceevne (se bilag 1). At resultaterne med vinterhvede er forskellige fra tidligere forsøg med vårhvede (f.eks. Olsen *et al.*, 2012) kan sandsynligvis tilskrives vinterhvedens større buskningsevne, som kan kompensere for en uens fordeling, og måske også forskelle i væksthastighederne i de tidlige stadier. En ensartet rumlig fordeling, som vil kunne opnås ved hjælp af GPS udstyr, ville på sigt muliggøre anvendelse af avancerede, sensorstyrede maskiner til mekanisk bekæmpelse ("lugerbotter") og som sådan være et væsentligt bidrag til udvikling og implementering af integrerede bekæmpelsesstrategier, men på kort sigt vurderes gevinsten at være minimal i vintersæd.

Sortsvalg blev kun undersøgt i semifieldforsøg, hvor en konkurrencedygtig sort reducerede ukrudtsbiomassen med 20% i forhold til en mindre konkurrencedygtig sort (se bilag 1). Konkurrenceindekset for vinterhvedesorterne på den danske sortliste ligger mellem 0,74 og 1,35 og blandt de ti højestydende sorter varierer konkurrenceindekset mellem 0,83 og 1,35 (www.sortsinfo.dk). En kornsorts konkurrenceevne er især bestemt af, hvor hurtigt afgrøden vokser i de tidlige stadier samt højden. Der er ikke så store forskelle i vintersædssorternes højde som tidligere, da planteforædlerne i de senere år har tilstræbt at frembringe lave, stråstive sorter med et lille behov for vækstregulering. Det har mindsket mulighederne for at anvende sortsvalg som et værktøj til integreret ukrudtsbekæmpelse.

3.1.4 Mellem- og efterafgrøder

Konklusionen af forsøgene med olieræddike som mellemafgrøde og gul sennep og vinterrug som efterafgrøde var entydig, idet der ikke blev fundet signifikante effekter på fremspiring og vækst af ukrudt i den efterfølgende afgrøde (se bilag 4). Resultaterne er i overensstemmelse med tidligere danske erfaringer (Kudsk *et al.*, 2013). Anbefalingen til praksis er derfor, at mellem- og efterafgrøder ikke kan forventes at bidrage til en hæmning af ukrudtets spring og vækst under danske forhold. At resultaterne med mellem- og efterafgrøder er negative under danske forhold modsat flere udenlandske undersøgelser kan sandsynligvis tilskrives vores nordlige beliggenhed, som betyder, at vækstperioden for mellem- og efterafgrøder både i efteråret og foråret er meget kort, og at biomassen derfor er mindre end under sydligere forhold (Kudsk *et al.*, 2013).

Med strip tillage teknikken er der observeret en mindre fremspiring imellem rækkerne end ved traditionel såbedstilberedning, og sukkerroeutdytterne ved de to systemer var ikke forskellige (se bilag 4). Såning af efterafgrøder øgede ikke effekten af strip tillage, hvilket viser, at effekten på ukrudtsfremspiringen kan tilskrives den manglende jordbearbejdning.

3.2 IPM princip 2: Monitorering

3.2.1 Tidlig monitorering i foråret af tokimbladet ukrudt i vintersæd

Monitorering af ukrudt fulgt op en behovsvurdering bør være et element i alle integrerede ukrudtsbekæmpelsesstrategier. Af flere forskellige årsager er det ikke tilfældet i praksis.

I vintersæd har mange års forsøg vist, at ud fra en økonomisk vurdering er en kemisk ukrudtsbekæmpelse om efteråret som regel god praksis i afgrøder etableret til normal såtidspunkt ud fra en økonomisk betragtning men også med henblik på at minimere det samlede herbicidforbrug. I sent såede vintersædsafgrøder kan ukrudtsbekæmpelse i efteråret derimod ofte udelades. Omvendt forholder det sig med forårsbehandlingerne i vintersæd, som ofte er økonomisk

urentable og resulterer i et unødigt højt herbicidforbrug. Forårstravlhed og dermed mangel på tid til monitorering er et af de argumenter, man ofte mødes med, når landmænd konfronteres med denne problematik.

En mulighed for at løse denne problemstilling kunne være at foretage monitoreringen tidligere i foråret, såfremt disse tidlige registreringer kan give et tilfredsstillende bud på forekomsten af ukrudt på behandlingstidspunktet og dermed behovet for ukrudtsbekæmpelse. Resultaterne fra de 48 sprøjtevinduer, der blev undersøgt i vækstsæsonerne 2010/2011 og 2011/2012, viste, at sammenhængen mellem forekomsten af vinterannuelle tokimbladede ukrudtsarter i det tidlige forår og senere i sæsonen kan anvendes til at fastlægge behovet for ukrudtsbekæmpelse i foråret (se bilag 5). Resultaterne viste også, at der skal forventes og estimeres en yderligere fremspiring, uanset hvornår monitoreringen udføres. Det skyldes, at fremspiringen af vinterannuelle tokimbladede ukrudtsarter i marts og april i begge forsøgsår var større end forventet. Sent fremspirede planter af de vinterannuelle ukrudtsarter vil i veludviklede afgrøder ikke have betydning, mens de kan udvikle sig til konkurrencedygtige planter i åbne og tynde afgrøder. Burrenær kræver særlig opmærksomhed, da selv sent fremspirede planter kan nå en udvikling, som kræver behandling, og tilsvarende vil sommerannuelle arter som eksempelvis pileurtarterne kræve en særlig monitorering.

Forsøgene har givet en ny viden om udfordringerne ved at skulle monitere ukrudt i vintersæd om foråret, som vil kunne være nyttig ved design af teknologiske løsninger, hvor eksempelvis kameraer og billedbehandling skal anvendes til monitoringsopgaven og efterfølgende omsættes til beslutningsalgoritmer.

3.2.2 Prognosemodel for spirehvile i frø af ukrudtsgræsser

Engelske erfaringer med ager-rævehale har vist, at frøenes primære spirehvile er påvirket af klimaforholdene og især temperaturen i modningsperioden (Cook *et al.*, 2006). Jo højere temperatur i modningsperiode jo kortere primær spirehvile. Primær spirehvile har betydning for, hvad der er den optimale jordbearbejdningsstrategi forud for såning af vintersæd.

Resultaterne fra de to års forsøg kunne hverken eftervise de engelske resultater med ager-rævehale eller vise nogen sikker sammenhæng imellem temperatur i modningsperioden og primær spirehvile i frø af vindaks og væselhale (se bilag 2). Forsøgene har således ikke kunnet bekræfte, at stubbearbejdningsstrategien bør tilpasses klimaforholdene i modningsperioden for disse 3 græsser, og anbefalingen til praksis for de 3 ukrudtsgræsser er derfor uændret, det vil sige, at den mest hensigtsmæssige strategi er at efterlade frøene urørt på jordoverfladen i perioden frem til såning af vintersæd.

3.3 IPM princip 4: Ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder

Mulighederne for ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder i landbrugsafgrøder afhænger i vid udstrækning af, om afgrøden er sået med lille (radsåning) eller stor rækkeafstand (rækkesåning) (se bilag 6). I radsåede afgrøder som korn og bælgssæd er ukrudtsharvning det eneste ikke-kemiske alternativ til herbicider. Effekten af ukrudtsharven er meget variabel og påvirkes meget af vejrforholdene, og udføres behandlingen ikke korrekt, så kan ukrudtsharvning resultere i udbyttetab.

Alternativt er der gode muligheder for ikke-kemisk bekæmpelse i rækkesåede afgrøder, hvor primært radrensning men også flammebehandling kan anvendes. En anden effektiv ikke-kemisk metode, hvor effekten er sammenlignelig med kemisk bekæmpelse, er stjernerullerenseren i kartofler. Visse afgrøder som f.eks. vinterraps kan med fordel ændres fra at være en radsået til at blive en rækkesået afgrøde, hvorved man gør det muligt at anvende ikke-kemiske metoder som radrensning. I andre afgrøder som f.eks. korn kan en øget rækkeafstand resultere i et mindre udbytte (Melander *et al.*, 2001), og i kornafgrøderne er der behov for at udvikle systemer til

mekanisk bekæmpelse, som gør det muligt at radrense i kornafgrøder, som er sået på marginal større rækkeafstand, end tilfældet er i dag, hvis man skal undgå udbyttetab.

Specielt radrensning er i dag en så veletableret ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelsesmetode i rækkesåede afgrøder, at den burde have en større udbredelse, end tilfældet er i dag, og være et element i integrerede ukrudtsbekæmpelsesstrategier. Radrensning synes at være på fremmarch i vinterraps, majs og sukkerroe primært som følge af problemer med at bekæmpe visse ukrudtsarter kemisk. Beregninger ved Videncentret for Landbrug har vist, at økonomien i radrensning i vinterraps og majs er sammenlignelig med økonomien ved kemisk bekæmpelse, når arealet er større end henholdsvis 14 og 23 ha (https://www.landbrugsinfo.dk/Oekonomi/Produktionsoekonomi/Sider/pl_09_010.aspx).

3.4 Beslutningsstøttesystem til integreret ukrudtsbekæmpelse

Eksisterende beslutningsstøttesystemer som f.eks. Planteværn Online arbejder med en kortere tidshorizont og ofte kun en vækstsæson, end hvad der er behov for ved integreret ukrudtsbekæmpelse, hvor blandt andet sædskiftet er vigtig parameter. En vurdering af de langsigtede konsekvenser forudsætter bl.a., at man inddrager viden om ukrudtets biologi og afgrøde-ukrudt konkurrence foruden viden om herbicidens effekt, som er hjørnestenen i Planteværn Online.

Der er ikke mange eksempler på beslutningsstøttesystemer til integreret ukrudtsbekæmpelse. Et eksempel er RIM, som er et *e*-læringsværktøj udviklet i Australien til integreret ukrudtsbekæmpelse (Pannell *et al.*, 2004). RIM er en forkortelse for *Ryegrass Integrated Management*, og drivkraften bag udviklingen af RIM var de stigende problemer i Australien med herbicidresistens i rajgræs, men systemet er anvendelig, også hvor herbicidresistens ikke er den primære årsag til at adoptere integrerede metoder, da det kan håndtere både kemiske og ikke-kemiske bekæmpelsesmetoder (se bilag 7). RIM giver ikke eksakte løsninger som f.eks. Planteværn Online men derimod en vurdering af de agronomiske og økonomiske konsekvenser af de valg, man træffer. RIM er for nylig blevet opdateret og kan downloades fra internettet (<http://ahri.uwa.edu.au/research/rim/>).

4. Konklusion

Projektet har vist, at ingen af de undersøgte alternative metoder kan erstatte herbicider fuldt ud, og dermed underbygget Liebman & Gallandt's (1997) meget illustrative beskrivelse af integreret ukrudtsbekæmpelse som "the use of many little hammers".

Formålet med dette projekt var at tilvejebringe viden om effekten af nogle af disse "little hammers" og vurdere, hvordan en øget anvendelse af disse kan bidrage til implementeringen af integreret ukrudtsbekæmpelse i de større landbrugsafgrøder. En strategi for integreret ukrudtsbekæmpelse skal tage ukrudtets livscyklus i betragtning og have som mål 1) at minimere etableringen af enårigt ukrudt fra frø og flerårigt ukrudt fra vegetative organer som rødder og udløbere, 2) minimere konkurrencen om lys, vand og næringsstoffer ved enten at fjerne ukrudtsplanterne eller at foretage indgreb, som svækker ukrudtet eller øger afgrødens konkurrenceevne og 3) minimere frøproduktionen og for flerårige ukrudtsarter opformeringen af vegetative organer. For at en bekæmpelsesstrategi kan siges at være integreret, bør den være målrettet mod mindst to af ovennævnte mål.

I projektet undersøgte vi effekten af følgende tiltag:

- Sædskiftets betydning for ukrudtsfloraens udvikling og sammensætning
- Ukrudtsgræssers spirehvide
- Effekten af såtidspunkt, afgrødetæthed og afgrødens rumlige fordeling på de vigtigste ukrudtsarters vækst og udvikling
- Udnyttelse af mellem- og efterafgrøders hæmmende effekter på ukrudtet
- Skadetærskler og monitoringsmetoder for ukrudt i vintersæd om foråret
- Ikke-kemiske bekæmpelsesmetoders effekt overfor de vigtigste ukrudtsarter.

Projektet har vist, at sædskiftet er det stærkeste værktøj landmanden har til sin rådighed, men da en ændring af sædskiftet kan have konsekvenser ikke bare for ukrudtsbekæmpelsen men også for rentabiliteten i plantedyrkingen, er det et værktøj, som landmænd typisk først griber til, når der ikke er andre løsninger. På det tidspunkt kan der være behov for markante ændringer i sædskiftet, som også påvirker indtjeningen, mens mindre ændringer af sædskiftet, før ukrudtsproblemerne kommer ud af kontrol, vil være forbundet med mindre omkostninger. Et beslutningsstøttesystem som RIM kunne være et meget værdifuldt værktøj ved vurdering af de langsigtede konsekvenser af en omlægning af sædskiftet.

Såtidspunkt og afgrødetæthed er specielt i vintersædsafgrøder ligeledes et af de værktøjer, som har effekt, og som landmænd kan benytte sig af. Øget udsædsmængde er altid forbundet med øgede omkostninger, mens sen såning ikke behøver at være det, men det afhænger bl.a. af vækstforholdene efter såning, samt angrebsniveauet af svampe og skadedyr. I marker, hvor der er store problemer med græsukrudt, bør sen såning overvejes som et af flere værktøjer, og tidlig såning omkring 1. september bør helt undgås. Effekten af sen såning er ikke blot et mindre ukrudtstryk men også en mindre risiko for opformering af herbicidresistente biotyper. Dyrkning af en konkurrencestærk sort adderer til effekten af sen såning og øget udsædsmængde, men på grund af små forskelle i konkurrenceevnen mellem de markedsførte sorter har sortsvalg p.t. mindre effekt på forekomsten af ukrudt end f.eks. såtidspunkt. Konkurrenceevne overfor ukrudt burde have en mere fremtrædende plads på planteforædlernes liste over prioriteret egenskaber, men det er ikke

sandsynligt, at det vil ske i den nærmeste fremtid, hvor udbytte, kvalitet, bedre udnyttelse af næringsstoffer og sygdomsresistens er egenskaber, som er højere prioriteret.

Monitering af ukrudt i det tidlige forår viste, at det var muligt at fremskrive resultatet af tidlige monitoringer af vinterannuelle ukrudtsarter til det tidspunkt, hvor forårsbehandlingerne mod ukrudt udføres og dermed vurdere behovet for bekæmpelse. Derimod er det nødvendigt at supplere de tidlige monitoringer med senere monitoringer for at vurdere tætheden af sommerannuelle ukrudtsarter. Det skal understreges, at dette er de første undersøgelser af sin art i Danmark, og der er behov for at følge op på disse undersøgelser, såfremt der ønskes udviklet et værktøj til brug i praksis.

Udviklingen indenfor mekanisk bekæmpelse er gået stærkt i de senere år. Med fremkomsten af billigere sensorer er det nu muligt f.eks. at radrense tættere på afgrøden end tidligere, men ukrudt i afgrøderækken er stadig en udfordring. Forsøg har vist, at i en konkurrencestærk afgrøde som vinterraps er det ikke nødvendigt at bekæmpe ukrudtet i rækken, mens det er tilfældet i majs. Med udviklingen inden for radrensere er radrensning eventuelt i kombination med båndsprøjtning et integreret bekæmpelsestiltag, som både er effektivt og økonomisk rentabelt i mange flere marker, og som kunne få en større udbredelse end tilfældet er i dag.

Projektet har vist, at det ikke synes muligt, at udvikle en prognosemodel for spirehvide i ukrudtsgræsser baseret på klimaforholdene i modningsperioden. I England har man udviklet en sådan model for ager-rævehale, men vi var i projektet ikke i stand til at eftervise de engelske erfaringer. Tilsvarende har projektet også vist, at mellem- og efterafgrøders effekter på ukrudtets fremspiring og vækst er minimale, og at det ikke kan begrunde dyrkning af disse afgrøder. Disse resultater ligger i forlængelse af tidligere danske resultater, og en sandsynlig forklaring på de manglende effekter er, at produktionen af biomasse i de fleste år er utilstrækkelig som følge af en kort vækstsæson. I kombination med strip tillage kan efterafgrøder have en relevans, da plantevækst imellem rækkerne foruden at opsamle kvælstof også sikrer en bedre jordstruktur og beskytter mod jorderosion.

Et andet formål med projektet var at foreslå et koncept for et simpelt beslutningsstøtteværktøj, som kan anvendes af rådgivere og jordbrugere i forbindelse med planlægningen af en strategi for integreret ukrudtsbekæmpelse. Vi har vurderet, at *e-learning* værktøjet RIM vil være en god skabelon at bygge et dansk beslutningsstøttesystem til integreret ukrudtsbekæmpelse op omkring, da det indeholder de komponenter, som man skal overveje i denne forbindelse. Med RIM vil det være muligt at sammenligne scenarier og dermed opnå et bedre grundlag for f.eks. at vurdere konsekvenserne af en ændring i sædskiftet.

Sammenfattende kan det konkluderes, at projektet har opfyldt sine mål om 1) at vurdere en række præventive og ikke-kemiske metoders effekter og anvendelighed i integreret ukrudtsbekæmpelse samt 2) anviser et koncept til beslutningsstøttesystem, som vil kunne anvendes af landmænd og konsulenter ved planlægning og udvikling af strategier tilpasset de enkelte bedrifter.

5. Perspektivering

5.1 Forskningsmæssige perspektiver

Sædskiftet er det vigtigste redskab i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi, og med et alsidigt sædskifte kan både opformering af tabsvoldende ukrudtsarter og herbicidresistens forebygges. På planteavlbedrifter er sædskiftet optimeret med henblik på at maksimere indtjeningen, og ændringer i sædskiftet vil på kort sigt derfor ofte være forbundet med et indtægtstab. På svinebedrifter er sædskiftet som regel optimeret med henblik på at maksimere produktionen af hjemmeavlet foder og minimere indkøbet af foder, hvilket som regel opnås via en høj andel af vintersæd i sædskiftet, og en ændring af sædskiftet på disse ejendomme vil derfor også ofte være forbundet med en reduktion i indtjeningen.

Set i lyset af at sædskiftet er rygraden i en integreret strategi, er det vigtigt at kunne dokumentere de langsigtede effekter af sædskifteændringer og især mindre sædskifteændringer foretaget, inden ukrudtsproblemerne når et niveau, hvor der er behov for større ændringer i sædskiftet, som f.eks. udskiftning af vintersædsafgrøder med vårsædsafgrøder. Et eksempel på en mindre sædskifteændring er udskiftning af vinterhvede med vinterrug, som er mere konkurrencestærk over for ukrudt. Økonomien ved dyrkning af vinterrug er på de bedre jorde dårligere end af vinterhvede men bedre end af vårbyg. *Med henblik på at fremme sådanne tilpasninger af sædskiftet er det vigtigt at kunne dokumentere, at de kortsigtede tab ved udskiftning af en afgrøde med en anden opvejes af reducerede udgifter til ukrudtsbekæmpelse på længere sigt og en mindre risiko for resistens. En kombination af eksperimentelle aktiviteter og modellering er nødvendig for at kunne gøre dette. Udvikling af et værktøj som RIM vil i denne sammenhæng være en stor fordel, når resultaterne af disse aktiviteter skal viderebringes til landmændene.*

Projektet har vist, at en række kulturtekniske tiltag kan reducere ukrudtstrykket og dermed effekten af ukrudtet på udbyttet. Eksempler på kulturtekniske tiltag er sen såning af vintersæd, øget udsædsmængde og dyrkning af konkurrencestærke sorter. Projektet har også vist, at det næsten altid er nødvendigt at kombinere flere kulturtekniske tiltag. *Fremtidige udviklings- og forskningsprojekter bør derfor fokusere på kombinationer af metoder det vil sige strategier snarere end at studere metoderne enkeltvis.*

I Danmark har der siden 1980'erne været fokus på at optimere herbicidanvendelsen, men i den forbindelse er der primært fokuseret på at tilpasse valg af ukrudtsmiddel og doseringen til ukrudtsfloraen, ukrudtets størrelse og klimaforholdene, mens der har været mindre fokus på at tilpasse doseringen til en ændret dyrkningspraksis. Sen såning, falsk såbed, større afgrødetæthed og dyrkning af konkurrencestærke sorter vil reducere fremspiringen af ukrudtet og/eller reducere de fremspirede ukrudtsplanters vækst, det vil sige mindske ukrudtstrykket og dermed det potentielle udbyttetab. Formålet med at bekæmpe ukrudt er at bringe ukrudtsbiomassen ned på et niveau, som ikke påvirker udbyttet negativt og ikke resulterer i en stor frøproduktion, det vil sige ved et lavt ukrudtstryk er effektkravet ved kemisk bekæmpelse lavere end ved et højt ukrudtstryk. Kulturtekniske tiltag, som kan mindske ukrudtstrykket, åbner derfor op for en reduktion i herbicidanvendelse (færre sprøjtninger og/eller lavere doseringer), men sammenspillet mellem kulturtekniske tiltag og herbicidforbrug er ikke velundersøgt. De få undersøgelser, der er gennemført, har bekræftet, at det er muligt at reducere herbicidforbruget, når såningen af vinterhvede blev udsat, eller udsædsmængden blev forøget (Christensen, 1993). *Dette er et aspekt, som bør undersøges yderligere, bl.a. fordi de tidligere undersøgelser ikke omfattede*

græsukrudsarter, som i dag er det dominerende problem i vinterannuelle afgrøder. En kvantificering af de potentielle herbicidbesparelser er en forudsætning for at vurdere de økonomiske konsekvenser af at kombinere kulturteknik og kemi.

I forsøgene med mellem- og efterafgrøder blev der ikke observeret signifikante effekter på ukrudtet, og det blev konkluderet, at mellem- og efterafgrøder på nuværende tidspunkt ikke kan anbefales som elementer i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi. Derimod er resultaterne fra forsøgene med strip tillage meget positive. Strip tillage kræver en behandling med glyphosat forud for såning for at bekæmpe overlevende ukrudt, til gengæld synes der at være gode muligheder for at reducere herbicidforbruget i afgrøden eventuelt ved at båndsprøjte fremfor at bredsprøjte. I majs vil strip tillage foruden båndsprøjtning kunne kombineres med flammebehandling i rækken.

Andre fordele ved strip tillage metoden er et mindre brændstofforbrug. Selv om ukrudtseffekten af efterafgrøderne var minimale, vil det være naturligt at kombinere strip tillage med efterafgrøder for at reducere kvælstofudvaskningen, mindske risikoen for jorderosion og forbedre jordstrukturen. *Flere undersøgelser er imidlertid nødvendige før strip tillage kan anbefales i praksis, ligesom der er behov for, at landbrugsmaskinbranchen udvikler og markedsfører maskiner til strip tillage.*

5.2 Administrative perspektiver

Udover de 8 generelle principper i Direktiv 2009/128/EF er der i fastsat regler for, hvad der anses for at være god IPM praksis. Det er planen at producere afgrøde- og sektorspecifikke IPM vejledninger, men da mulighederne og omkostninger ved implementering af IPM varierer fra egn til egn og fra bedrift til bedrift, må disse nødvendigvis også være forholdsvis generelle. Implementeringen af IPM herunder integreret ukrudtsbekæmpelse er derfor meget afhængig af den viden og de værktøjer såsom monitorings-, varslings- og beslutningsstøttesystemer, som forskningen kan stille til rådighed, samt den rådgivning landmændene modtager fra deres konsulenter.

Et administrativt aspekt, som bør inddrages, er, at implementeringen af IPM i Danmark skal ske under hensyntagen til de mange tiltag, der er indført for at begrænse kvælstofudvaskningen, og som ofte besværliggør implementeringen af integrerede ukrudtsbekæmpelsesmetoder. Restriktionerne i mulighederne for stubbearbejdning i efteråret forud for såning af en vårafgrøde er et eksempel på et sådant tiltag, og godkendelsen tidligere i år af tidlig såning af vinterhvede som et virkemiddel til reduktion af kvælstofudvaskningen er et andet eksempel. Udfordringen i praksis er at forene de to ofte modstridende interesser. Et tilbageblik over de seneste års tiltag viser, at begrænsning af kvælstofudvaskningen politisk synes at veje tungere end implementeringen af IPM, hvilket så også bør afspejle sig i forventningerne til implementeringen af IPM i praksis.

Referencer

- Andersson TN & Milberg P. (1996). Weed performance in crop rotations with and without leys and at different nitrogen levels. *Annals of Applied Biology* 128, 505-518.
- Andersson TN & Milberg P. (1998). Weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation, and nitrogen. *Weed Science* 46, 30-38.
- Ascard J, Hatcher PE, Melander B & Upadhyaya MK (2007). Thermal Weed Control. In: *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, (Editors: M.K. Upadhyaya & R. E. Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK): 155-175.
- Axelsen J *et al.* (2012). Udredning om monitorings-, varslings- og beslutningsstøttesystemer for skadevoldere i planteproduktionen i landbrug, gartneri og frugtavl. Miljøprojekt nr. 1407. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- Barberi P. (2002). Weed management in organic agriculture: Are we addressing the right issues? *Weed Research* 42: 177-193
- Beck K *et al.* (2001). Manifesto for Agile Software Development. www.agilemanifesto.org.
- Blackshaw RE, Andersson RL & Lemerle D. (2007). Cultural Weed Management. In: *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, (Editors: M.K. Upadhyaya & R.E. Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK), 35-48.
- Bohan DA, Powers SJ, Champion G, Haughton AJ, Hawes C, Squires G, Cussans J & Mertens SK. (2011). Modelling rotations: can crop sequences explain arable weed seedbank abundance? *Weed Research* 51, 422-432.
- Boyd NS, Brennan EB, Smith RF & Yokota R. (2009) Effect of seeding rate and planting arrangement on rye cover crop and weed growth. *Agronomy Journal* 101 (1), 47-51
- Brandsæter LO, Mangerud K & Rasmussen J (2012). Interactions between pre- and post-emergence weed harrowing in spring cereals. *Weed Research* 52: 338-347.
- Buhler DD. (2002). Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 50: 273-280
- Chikowo R, Faloya V, Petit S & Munier-Jolain NM. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132, 237-242.
- Christensen S. (1993). Herbicide dose adjustment and crop weed competition. Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 1217-1222.
- Christensen S & Rasmussen G. (1994). Differential weed suppression and weed control in winter wheat. *Aspects of Applied Biology* 40, 335-342.
- Colbach N & Debaeke P. (1998). Integrating crop management and crop rotation effects into models of weed population dynamics: a review. *Weed Science* 46: 717-728
- Cook, SK, Swain AJ, Clarke J, Moss S, Hughes Z, Orson J, Powell L, Creasey A, Norman K & Alford J. (2006) Improving crop profitability by using minimum cultivation and exploiting grass weed ecology Project report no. 381, Home Grown Cereals Authority.
- Cousens RD. (1987). Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly* 2:13-20.
- Cousens RD. (1995). Can we determine the intrinsic dynamics of real plant populations? *Functional Ecology* 9, 15-20.
- Cousens RD & Woolcock JL. (1997). Spatial dynamics of weeds: an overview. In: *Proceedings 1997 Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, pp. 613-618
- Dekker J. (1997). Weed diversity and weed management. *Weed Science* 45: 357-363

Ferguson A & Evans N. (2010). Reducing pesticide inputs in winter cropping systems in the UK. Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 3 (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Fortino G, Guichard L & Lô-Pelzer E *et al.* (2010). Redesigning cropping systems in three French regions. Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 2 (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Freckleton RP, Sutherland WJ, Watkinson AR, Stephens PA (2008). Modelling the effects of management on population dynamics: some lessons from annual weeds. *Journal of Applied Ecology* 45: 1050-58.

Gressel J. (2011). Global advances in weed management. *Journal of Agricultural Science* 149: 47-53

Hansen PK, Rasmussen IA, Holst N & Andreassen C. (2007). Tolerance of four spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties to weed harrowing. *Weed Research* 47: 241-251

Haramoto ER & Gallandt ER. (2004). Brassica cover cropping for weed management: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 19, 187-198.

Harker KN & O'Donovan JT. (2013). Recent weed control, weed management and integrated weed management. *Weed Technology*, 27, 1-11.

Hashem A, Radosevich SR & Roush ML. (1998). Effect of proximity factors on competition between winter wheat (*Triticum aestivum*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Weed Science*, vol. 46, 2, s. 181-190.

Hillocks RJ. (2012). Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection* 31: 85-93.

Holst N. (2013). A universal simulator for ecological models. *Ecological Informatics* 13: 70-76

Holst N, Rasmussen IA & Bastiaans L. (2007). Field weed population dynamics: a review of model approaches and applications. *Weed Research* 47: 1-14.

Jensen KR, Rasmussen J & Melander B. (2004). Selectivity of weed harrowing in lupin. *Weed Research* 44: 245-253.

Jensen RK, Melander B & Callesen NH. (1999). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i lupiner. 16. Danske Planteværnskonference / Plantebeskyttelse i økologisk jordbrug / Sygdomme og skadedyr: 97-106.

Jensen PK. (2009). Longevity of seeds of four annual grasses and two dicotyledon weed species as related to placement in the soil and straw disposal technique. *Weed Research* 49, 592-601.

Jensen PK. (2010). Longevity of seeds of *Poa trivialis* and *Vulpia myuros* as affected by simulated soil tillage practices and straw disposal technique. *Grass and Forage Science* 65, 76-84.

Johansson D. (1998). Radhackning med och utan efterredskap i stråsåd. Rapporten från jordbearbetningsavdelningen, Sveriges Lantbruksuniversitet, nr. 94: 55 pp.

Kristensen L, Olsen J & Weiner J. (2008). Crop density, sowing pattern and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. *Weed Science*, 56, 97-102.

Kudsk P, Fomsgaard I, Holst N., Mathiassen SK & Sørensen JC. (2013). Efterafgrøder af vinterraps og vinterrug – allelokemiske stoffer af ukrudtseffekt. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 142. 59p

Lemerle D, Cousens RD, Gill GS, Peltzer SJ, Moerkerk M, Murphy CE, Collins D & Cullis BR. (2004). *Journal of Agricultural Science*, 142, 395-409.

Liebman M & Gallandt ER. (1997). Many little hammers: Ecological approaches for management of crop-weed interactions. In: *Ecology in Agriculture and Soil Management* (ed L.E. Jackson), 291-343.

Llewellyn RS, Lindner RK, Pannell DJ & Powles SB. (2007). *Agricultural Economics*, 36, 123-130

Lundkvist A. (2009). Effects of pre- and post-emergence weed harrowing on annual weeds in peas and spring cereal. *Weed Research* 49: 409-416.

Lutman PJW, Moss SR, Cook S & Welham SJ. (2013). A review of the effects of crop agronomy on the management of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, 53, 299-313.

Martin RC. (2006). *Agile Software Development: Principles, Patterns, and Practices*. Prentice Hall.

Medd RW, Auld BA, Kemp DR & Murison RDS. (1985). The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Australian Journal of Agricultural Research* 36 (3), 361-371.

Meiss H, Médiène S, Waldhardt R, Caneill J, Bretagnolle V, Reboud X & Munier-Jolain N. (2010). Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain rotations. *Weed Research* 50, 331-340.

Melander B. (1993). Population dynamics of *Apera spica-venti* as influenced by cultural methods. In: proceedings *Brighton Crop Protection Conference, Weeds 1993* 1, 107-112.

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, Cirujeda A & Jørgensen MH. (2003). Effects of inter-row hoeing and fertiliser placement on weed growth and yield of winter wheat. *Weed Research* 43: 428-438.

Melander B, Holst N, Jensen PK, Hansen EM & Olesen JE. (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, Jørgensen LN & Poulsen RT. (2010). IPM in winter crops based cropping systems. Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 1 (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Melander B, Rasmussen IA & Barberi P. (2005). Integrating Physical and Cultural Methods of Weed Control – Examples from European Research. *Weed Science* 53: 369-381.

Melander B, Rasmussen K, Rasmussen IA & Jørgensen MH. (2001). Radrensning med og uden ukrudtsharvning i vintersæd om foråret i samspil med forskellige dyrkningsfaktorer. 18. Danske Planteværnskonference. DJF-rapport nr. 40 (2001): 211-225.

Melander B., Rasmussen J. & Rasmussen K. (1995). Ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse - Muligheder og begrænsninger i vinterraps og majs. 12. Danske Planteværnskonference/Ukrudt 1995, 123-137.

Melander B, Munier-Jolain N, Raphael C, Wirth J, Schwartz J, van der Weide R, Bonin L, Jensen PK & 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.

Merali Z. (2010). Why scientific programming does not compute. *Nature* 467: 775-777.

Mikkelsen G, Djurhus J, Thomsen H & Damgaard E. (2002). Mekanisk renholdelse af majs. Grøn Viden Markbrug nr. 248: 1-6.

Mohler CL. (2001). Enhancing the competitive ability of crops. In: Leibman M., Mohler C.L., Staver C.P. (eds) *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press, New York, pp 40-98.

Norris RF, Caswell-Chen EP & Kogan M. (2003). *Concepts in Integrated Pest Management*. Prentice-Hall.

Olsen J, Kristensen L & Weiner J. (2005). Effects of density and spatial pattern of winter wheat on suppression of different weed species. *Weed Science*, 53, 5, 690-694

Olsen J & Weiner J. (2007). The influence of *Triticum aestivum* density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. *Basic Application Ecology*, 8, 252-257.

Olsen J, Griepentrog H, Nielsen J & Weiner J. (2012). How important are crop spatial pattern and density for weed suppression by spring wheat? *Weed Science* 60 (3), 501-509.

Oreskes NK, Shrader-Frechete K & Belitz K. (1994). Verification, validation, and confirmation of numerical models in the early sciences. *Science* 263: 641-646.

Pallutt B & Grübner P. (2004). Langzeitwirkungen ausgewählter Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Verunkrautung am Beispiel des Getreides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft XIX*, 969-979.

Pallutt B. (1999). Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. (Influence of crop rotation, tillage and herbicide use on population dynamics and competition of weeds in winter cereals. With English summary). *Gesunde Pflanzen* 51, 109-120.

Pannell DJ, Stewart V, Bennett A, Monjardino M, Schmidt C & Powles SB. (2004). RIM: A Bioeconomic Model for Integrated Weed Management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79: 305-325.

- Pedersen J & Petersen PH. (2011). Radrensning af majs og raps. Farmtest Maskiner og Planteavl 118: 33 pages. Videnscentret for Landbrug, Aarhus, Denmark.
- Pedersen JB & Pedersen CÅ. (2013). Oversigt over Landsforsøgene (2013)
- Rasmussen IA & Rasmussen K. (2003). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. 20 Danske Planteværnskonference. Korn, kartofler, skadedyr, miljø og postere: 91-104
- Rasmussen J. (1991). A model for prediction of yield response in weed harrowing. Weed Research 31: 401-408.
- Rasmussen J. (1993). Yield response models for mechanical weed control by harrowing at early crop growth stages in peas (*Pisum sativum* L.). Weed Research 33: 231-240.
- Rasmussen J. (1998). Ukrudtsharvning i vinterhvede. 15. Danske Planteværnskonference – Ukrudt. DJF-rapport nr. 2: 179-189.
- Rasmussen J & Pedersen TB. (1990). Forsøg med radrensning i korn - rækkeafstand og udsædsmængde. 7. Danske Planteværnskonference/Ukrudt: 187-199.
- Rasmussen J & Rasmussen K. (1994). Strategier for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårsæd. 11. Danske Planteværnskonference - Ukrudt. SP-rapport nr. 6. 149-162.
- Rasmussen J & Svenningsen T. (1995). Selective weed harrowing in cereals. Biological Agriculture and Horticulture 12: 29-46.
- Rasmussen J, Mathiasen H & Bibby BM. (2010). Timing of post-emergence weed harrowing. Weed Research 50: 436-446.
- Rasmussen K & Rasmussen J. (2000). Barley seed vigour and mechanical weed control. Weed Research 40: 219-230.
- Rasmussen K. (2002). Influence of liquid manure application method on weed control in spring cereals. Weed Research 42: 287-298.
- Rueda-Ayala VP, Rasmussen J, Gerhards R & Fournaise NE. (2011). The influence of post-emergence weed harrowing on selectivity, crop recovery and crop yield in different growth stages of winter wheat. Weed Research 51: 478-448.
- Sarrantonio M & Gallandt ER. (2003). The role of cover crops in North American cropping systems. Journal of Crop Production, 8, 53-73.
- Schulz M, Marocco A., Tabaglio V., Macias FA & Molinillo JMG. (2013). Benzoxazinoids in rye allelopathy - From discovery to application in sustainable weed control and organic farming. Journal of Chemical Ecology, 39, 154-174.
- Stratonovitch P, Storkey J & Semenov AA. (2012). A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. Global Change Biology 18: 2071-2080.
- Swanton CJ, Mahoney KJ, Chandler K & Gulden RH. (2008). Integrated Weed Management: Knowledge-Based Weed Management Systems. Weed Science, 56, 168-172.
- Ulloa SM, Datta A, Bruening C, Neilson B, Miller J, Gogos G & Knezevic SZ. (2011). Maize response to broadcast flaming at different growth stages: Effects on growth, yield and yield components. European Journal of Agronomy 34: 10-19.
- Videnscentret for Landbrug. (2011). <http://www.landbrugsinfo.dk/Oekologi>. Besøgt: December 18, 2011.
- Wang JY. (1960). A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology 41: 785-90.
- Welsh JP, Bulson HAJ, Stopes CE, Froud-Williams RJ & Murdoch AJ. (1996). Weed control in organic winter wheat using a spring-tine weeder. Proceedings of the Second International Weed Control Congress, Copenhagen: 1127-1132.

Bilag 1: Delrapport AP1 - Sædskiftets betydning for en IPM baseret ukrudtsbekæmpelse

Bo Melander, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Indledning

Et sædskifte betyder, at afgrøderne dyrkes i en bestemt rækkefølge tilsvarende den engelske betegnelse *crop rotation*. På engelsk anvendes også betegnelsen *crop sequence*, som i virkeligheden er mere retvisende for situationen i praksis; nemlig at afgrøderækkefølgen i plantedyrkingen er meget dynamisk og kan skifte hurtigt. På dansk ville det være mere retvisende at anvende betegnelsen afgrøderækkefølge, da sædskifte opfattes som en fast afgrøderækkefølge, der forløber igen og igen. Det er imidlertid ikke situationen i dansk landbrug i dag, hvor en nylig undersøgelse udført af Videncentret for Landbrug i regi af det EU-finansierede Network of Excellence ENDURE tydeligt klarlagde, at mængden af afgrøderækkefølger er meget stor og varieret (deliverable DR2.16, http://www.endure-network.eu/endure_publications/deliverables). En analyse af afgrødevalget i en 4-årig periode på 110.000 marker viste således, at der blev fundet ikke færre end 29.000 forskellige afgrøderækkefølger, af hvilke kun 33% optrådte mere end én gang. Den hyppigst forekommende afgrøderækkefølge optrådte kun i 3,6% af tilfældene, og blev analysen udvidet til en 6-årig periode faldt den hyppigst forekommende afgrøderækkefølge til 2,7%. Der er således tale om et meget dynamisk valg af afgrøder i praksis, som primært er styret af afgrødepriserne, behovet for foder, den gældende landbrugspolitik med hensyn til støtteordninger og i mindre grad af mere agronomiske årsager såsom forebyggelse af planteværns- og jordstruktur-problemer. Populært sagt forsøges det i praksis at presse så mange økonomisk indbringende afgrøder ind i afgrøderækkefølgen som muligt. For nemheds skyld vil ordet *sædskifte* blive anvendt i resten af rapporten og dækker således over både faste sædskifter og dynamiske afgrøderækkefølger.

Valget af afgrøder, og måden de følger hinanden på i sædskiftet, har stor betydning for forekomsten af ukrudt (Blackshaw *et al.*, 2007). Hver afgrøde har sin egen livscyklus, som kan være enten enårig, toårig eller flerårig. Endvidere er nogle afgrøder vinterfaste med etablering om efteråret (f.eks. vintersæd), eller også etableres de om foråret (f.eks. vårsæd). Langt størstedelen af afgrøderne på danske sædskiftemarker er dog enårige; enten efterårs- eller forårssåede afgrøder (Oversigten over Landsforsøgene, 2010). Ukrudtsfloraen vil bestemmes af de livsbetingelser afgrøden giver, og dyrkes der eksempelvis vintersæd meget ensidigt, vil ukrudtsfloraen typisk bestå af vinterfaste ukrudtsarter tilpasset en etablering om efteråret. Modsat vil mere varierede sædskifter fremme en flora bestående af arter med forskellige livscykluser (Blackshaw *et al.*, 2007). En række andre agronomiske indsatsfaktorer bliver samtidigt også mere diversificerede med en blandet afgrødedyrkning, hvilket også vil modvirke en ensretning af ukrudtsfloraen (Melander *et al.*, 2005).

Sædskifternes mere overordnede effekter på ukrudtsfloraen har længe været kendte, men mere specifik information om bestemte ukrudtsarter og bestemte sædskifter kræver en nærmere granskning af litteraturen og om muligt upublicerede forsøgsresultater. Formålet med denne udredning er at klarlægge de væsentligste nyere nationale og internationale resultater om sædskiftets effekter på ukrudt. Den internationale litteratur begrænses til lande med sammenlignelige klimaer og afgrødevalg. Den indhentede viden sammenfattes til oversigter over forventede effekter på ukrudtsfloraen og bekæmpelsesbehovet af nuværende sædskiftetyper samt nye opstillede sædskifter, som er sammensat med henblik på en optimeret IPM indsats mod ukrudt.

Relevant litteratur fra omkringliggende lande

Storbritannien

Som de danske sædskifter er også de britiske meget dynamiske, men med en stor andel af vinterhvede og vinterraps i dyrkingen (ENDURE-deliverable DR2.16, http://www.endure-network.eu/endure_publications/deliverables). Bohan *et al.* (2011) analyserede et større datamateriale med data for jordens indhold af ukrudtsfrø på 257 marker fordelt over det meste af

Storbritannien. Analysen blev ikke foretaget på artsniveau, men i forhold til de 3 grupper: enkimbladet ukrudt, tokimbladet ukrudt samt total ukrudtsbestand. De fandt, at sammensætningen af sædskiftet 3 år bagud i tiden i forhold til prøveudtagningstidspunktet kunne forklare forekomsten af henholdsvis a) tokimbladet, b) enkimbladet og c) den samlede pulje af ukrudtsfrø med en forklaringssevne på over 80 % af variationen i datamaterialet. I modellen indgik også økologiske zoner som en signifikant forklarende variabel for tokimbladede arter og total ukrudtsbestand, men kun til beskrivelse af forskelle i ukrudtstætheder. Blev analysen udvidet til en 4-årig dyrkningshistorie, blev forklaringssevnen ikke signifikant bedre. Forfatterne konkluderede, at kun en 3-årig dyrkningshistorie med rimelighed kan forklare den givne forekomst af ukrudtsfrø i frøbanken vurderet på de 3 kategorier af ukrudt. Det indikerer, at ukrudtsfrø med en lang holdbarhed i jorden (> 3 år) spiller en underordnet rolle for ukrudtsforekomsten. Både vår- og vintersæd gav generelt anledning til de laveste forekomster af tokimbladet ukrudt i det samlede analysemateriale, men også græsukrudt og den totale ukrudtsbestand var lave til medium i størrelse. Hyppig forårssåning og især vårrapsdyrkning medførte de største ukrudtsforekomster uanset ukrudtskategorien.

I forbindelse med ENDURE-arbejdet blev den britiske analyse udvidet til også at omfatte sædskiftedata fra Tyskland, Danmark, Ungarn og Italien. Analysen blev kun udført på den totale ukrudtsbestand (indeholdt både data fra frøbanksbestemmelser og optællinger i marken), men igen viste sædskiftesammensætningen at være langt mere betydende for ukrudtstrykket end eksempelvis oprindelseslandet. Geografisk oprindelse havde generelt ingen eller kun svage effekter. Det udvidede analysearbejde pågår stadig og vil tilstræbe en større nuanceringsgrad i tolkningerne.

Netop nuanceringsgraden er svagheden i Bohans analyser, da analyserne ikke giver indsigt i effekter på enkeltarter. Det er i sig selv ikke overraskende, at de konkurrencesterke kornafgrøder generelt giver anledning til de laveste ukrudtsforekomster. Men, som det er iagttaget i England, er hyppig vintersædsdyrkning præget af meget tabsvoldende græsukrudsarter som f.eks. ager-rævehale og gold højre (Peters *et al.*, 1993; Clarke *et al.*, 2000). Det samme er tilfældet med den tabsvoldende tokimbladede art burre-snerre (Wilson & Wright, 1991).

Sammenfattende viser Bohan *et al.*'s analyse, at sædskiftesammensætningen i et 3-årigt perspektiv har en betydelig forklaringskraft i forhold til fordelingen mellem to- og enkimbladet ukrudt, samt det samlede ukrudtstryk - geografi og år er af langt mindre betydning. Desuden er der rimelig grund til at antage, at analyseværktøjet kan udvides til også at beskrive sandsynlige effekter på enkeltarter, omend denne del stadig mangler at blive udviklet. Overført til den danske situation betyder det, at sædskiftet er en central og drivende faktor for ukrudtssammensætningen og dens størrelse. Bohan *et al.* (2011) fremfører, at viden om sædskiftesammensætningen kan danne grundlag for bedre vurderinger af det forventede herbicidforbrug, fordeling af støtteordninger til fremme af et lavt pesticidforbrug eller andre naturfremmende foranstaltninger.

Frankrig

Overvintrende afgrøder som vintersæd og vinterraps er også de helt store afgrøder i store dele af Frankrig med andele af vinterafgrøder tilsvarende Storbritannien (ENDURE-deliverable DR2.16, http://www.endure-network.eu/endure_publications/deliverables). Igen er vinterhvede suverænt den mest dyrkede vinterafgrøde. Det samfundsmæssige pres for en mindre afhængighed af herbicider er fremherskende tilsvarende andre mellem- og nordeuropæiske lande. Undersøgelser udført i Dijon-området har særlig fokus på IPM-løsninger og er derfor relevante at inddrage i denne sammenhæng. Ukrudtspopulationen blev fulgt over en 6-årig periode i 5 forskellige dyrkningsystemer designet til at begrænse afhængigheden af herbicider og i nogle systemer også begrænse arbejdsindsatsen. Herbicidanvendelsen i systemerne havde forskellige niveauer med almindelig standardanvendelse som det højeste og ingen anvendelse overhovedet som det laveste. Sammenlignet med standardsystemet var forbruget af aktivstoffer 70-90 % lavere, og antallet af behandlinger 40-70 % lavere, i IPM-systemerne, hvor der blev anvendt herbicider. Der blev

benyttet en række ikke-kemiske metoder, eksempelvis forsinket såtidspunkt, falsk såbed og mekanisk ukrudtsbekæmpelse foruden båndsprøjtning til minimering af herbicidindsatsen i rækkeafgrøder. Efter en 6-årig periode havde IPM-systemerne ikke givet anledning til en forværring af ukrudtsituationen, og selv det helt herbicidfri system havde en ukrudtspopulation af samme størrelse som standardsystemet. En væsentlig årsag til resultaterne var en aktiv inddragelse af sædskiftet i IPM-systemerne (Chikowo *et al.*, 2009). Standardsystemet bestod af 100 % efterårssåede afgrøder (hvede, raps og byg), mens IPM-systemerne havde en større diversitet af afgrødearter og såtidspunkter (vinterhvede, vinterraps, vinterbyg, sojabønner, triticales, vårbyg, vårhavre, vinter-hestebønner, solsikker). Andelen af forårssåede afgrøder i IPM-systemerne varierede med en forårssået afgrøde i 1 eller 2 dyrkningsår ud af 6 år i alt.

I et andet studium blev betydningen af lucerne i sædskifter med en høj andel af kerneafgrøder belyst i forhold til ukrudtssammensætningen over tid (Meiss *et al.*, 2010). Baggrundsmaterialet var en analyse af 420 marker, i hvilke lucerne indgik med varigheder fra 1 år eller 2-6 år i sædskifterne. Lucernens flerårighed, kraftige biomasseproduktion og evne til genvækst efter afhugning vil ændre livsbetingelserne markant, og det blev tydeligt afspejlet i floraændringerne i denne undersøgelse. Enårige ukrudtsarter, der normalt volder problemer i kornafgrøder, aftager med lucernedyrkingen, mens forekomsten af flerårige arter stiger, f.eks. mælkebøtte og kruset skræppe tilpasset livsbetingelserne i lucerne. Især enårige, højt voksende (f.eks. ager-sennep, hvidmelet gåsefod og sort natskygge) eller klatrende ukrudtsarter (f.eks. burre-snerre, snerle-pileurt, vedbend ærenpris) blev reduceret ved lucernedyrkingen - jo mere, jo længere en periode med lucerne. Arter associeret med lucernedyrking er sjældent noget problem i enårige afgrøder; de aftager eller forsvinder meget hurtigt. Ager-tidsel var en art, som reagerede anderledes på lucernedyrkingen, end artens flerårige biologi umiddelbart ville tilskrive. Lucernedyrking førte således til en betydelig reduktion af tidselmængderne. Betydningen af lucerne og andre konkurrencesterke kulturer kombineret med afhugning og god genvækstevne efter afhugning er også dokumenteret i andre undersøgelser, f.eks. hvor kløvergræs indgår (Patriquin, 1986; Häusler *et al.*, 2004; Graglia *et al.*, 2006; Liebmann *et al.*, 2008).

Tyskland

Tilsvarende den franske undersøgelse fra Dijon-området har en længerevarende tysk forsøgsserie (1984-2001) fra det tidligere Østtyskland også påvist betydningen af sædskiftet for behovet for herbicidindsatsen (Pallutt, 1999; Pallutt & Grübner, 2004). Undersøgelserne fokuserede på interaktionerne mellem sædskifte, jordbearbejdning og herbicidindsats, og i de senere år blev forskellige kvælstofniveauer også inddraget, men kun på observationsniveau. Sædskifterne bestod af henholdsvis et blandet sædskifte med 50 % vintersæd (øvrige afgrøder rødkløver, kartofler, majs og vinterraps) og et kornrigt sædskifte med 75% vintersæd (øvrige afgrøder primært efterårssået). Jordbearbejdningen var henholdsvis vendende (pløjning) og ikke-vendende (opharvning forud for planteetablering). Herbicidindsatsen bestod af 4 niveauer: ingen, standarddosering af de valgte løsninger, 50 % af standarddoseringen og 25% af standarddoseringen. Derudover blev der i en periode også anvendt mekanisk ukrudtsbekæmpelse (ukrudtsharvning) i selvstændige parceller. Afgrødevalget i sædskifterne var ikke helt fast for hele forløbet, kun andelen af vintersæd lå fast. Herbicider og doseringer var også underlagt en vis dynamik i forsøgsperioden afhængig af udbuddet på markedet. Antallet af herbicider, der kunne vælges imellem, samt de anvendte doseringer, var større end normerne for Danmark i samme periode. Eksempelvis var standardbehandlingen i vinterhvede i 2000 og 2001 en tankblanding af Husar (Iodosulfuron + Mefenpyr) 200 g ha⁻¹ + Loredo (Diflufenican + Mecoprop-P) 2,0 l ha⁻¹ i 2000 og 2001 svarende til et behandlingsindeks på ca. 2,66, hvilket er mere end dobbelt så højt som de nuværende danske måltal for vinterhvede.

På trods af de forsøgmæssige modifikationer undervejs i forløbet kan der udledes ret entydige resultater fra den tyske forsøgsserie. Vindaks forekom på forsøgsarealet fra begyndelsen, og bestanden kunne holdes på et kontinuerligt lavt niveau i det blandede sædskifte, selv under pløjefri dyrkningsforhold og ved 50 % af normaldoseringen af herbicider med effekt mod vindaks. I det

kornrige sædskifte var det ikke muligt at slække på doseringen, og i det pløjefri dyrkningssystem var fuld dosis ikke nok til at give en acceptabel bekæmpelse, (hvilket også er erfaret fra lignende forsøg med ager-rævehale (Zwerger *et al.*, 1990)). Tilsvarende observationer blev gjort med burre-snerre i slutningen af forsøgsperioden. Arten havde ikke forekommet i nævneværdig grad i først halvdel af forløbet, men bestanden steg mærkbart i det kornrige sædskifte i løbet af dyrkningsperiodens sidste 3 år. Stigningen var mest markant under pløjefri dyrkning, og selv fuld dosering af midler med effekt mod burre-snerre kunne ikke forhindre denne udvikling, omend bestandsniveauet stadig var lavest efter fuld dosering. Ukrudtstrykket af tokimbladede arter var generelt højere i sædskiftet med 75%’s vintersæd dyrket pløjefrit. Ses der bort fra burre-snerre medførte selv det laveste doseringsniveau en forholdsvis god ukrudtsbekæmpelse mod tokimbladet ukrudt uafhængigt af sædskifte og jordbearbejdning. Stigende kvælstofniveau fremmede den nitrofile art burre-snerre, men tendensen var kun til stede ved ingen herbicidbehandling.

Sverige

Svenske undersøgelser med 3 fastliggende sædskifteforsøg udført på 3 lokaliteter i Sydsverige viste også betydningen af et diversificeret sædskifte for en effektiv regulering af ukrudtsbestanden (Andersson & Milberg, 1996; Andersson & Milberg, 1998). Efter 26 års forløb havde ingen af sædskifterne udviklet et ukrudtsproblem. Sædskifterne var 6-årige med 5-6 forskellige afgrøder, hvor vinterhvede, havre og vinterrygs indgik i alle 3 sædskifter. I de to sædskifter var der i alt 5 afgrødetyper med vårbyg med udlæg i begge; enten 2-årig kløvergræs med iblanding af lucerne/rødkløver eller 2-årig græsmark – i begge tilfælde med gentagne afhugninger af kløvergræs/ græsudlæggene i brugsårene. I det 3. sædskifte var de øvrige afgrøder vårbyg, vårhvede og brak. I sædskifterne med udlæg var der således halvt af hver af henholdsvis forårssåede og efterårssåede enårige afgrøder, og i det 3. sædskifte var der en mindre overvægt af forårssåede afgrøder. Herbicider blev kun anvendt i vinterhvede, vårhvede, vårbyg og havre. I sædskifterne blev der altså kun anvendt herbicider i 50 % af årene i de to sædskifter med udlæg og herbicider i 66% af årene i det 3. sædskifte uden udlæg. Der var ingen signifikante forskelle mellem sædskifterne med hensyn til ukrudtsbiomasse og florasammensætning. Ud fra en ukrudtsmæssig betragtning er sædskifterne heller ikke særlig forskellige, da de indeholder en god blanding af afgrøder med forskellige etableringstidspunkter og varigheder. Det er især interessant ved de svenske undersøgelser, at typisk vinterannuelle ukrudtsarter kun forekom sporadisk i alle sædskifterne. Nogle af de mest tabsvoldende ukrudtsarter i dansk landbrug er netop de typisk vinterannulle arter (enårigt græsukrudt, burre-snerre og kornvalmue), men disse arter, eller arter med en tilsvarende biologi, blev effektivt hæmmet. Derimod bestod floraen især af arter, som er både forårs- og efterårsspirende. Typisk sommerannulle arter var også forholdsvist godt repræsenteret. Karakteristisk ved de hyppigst forekommende arter i den svenske undersøgelse var, at de ikke hører til blandt de mest tabsvoldende, og at de kun optrådte i små til moderate mængder. Flerårige arter som alm. kvik, ager-tidsel og ager-svinemælk optrådte også på de 3 lokaliteter, men angives ikke at have opnået nævneværdige bestandsstørrelser.

Danske resultater og erfaringer

Typiske sædskifter

I Videncentret for Landbrugs analyse om sædskifter og afgrødevalget på danske sædskiftemarker var ensidig vinterhvededyrkning det hyppigst forekommende sædskifte, både når der blev analyseret på 4- og 6-årige sædskifter (tabel 1 og 2). Men i begge analyser er de 10 mest forekommende sædskifter i virkeligheden ikke særlig almindelige, da mere end 85% af sædskifterne i begge analyser falder udenfor top 10 listen.

TABEL 1.

DE 10 MEST FOREKOMMENDE 4-ÅRIGE SÆDSKIFTER I DANMARK BEREGNET PÅ BAGGRUND AF 110.000 MARKER MED KENDT SÆDSKIFTE I PERIODEN. VV: VINTERHVEDE, WB: VINTERBYG, VR: VINTERRAPS, M: MAJS, GM: GRÆSMARKER, VB: VÅRBYG, B: BRAK, H: HAVRE.

SÆDSKIFTE	ÅR 1	ÅR 2	ÅR 3	ÅR 4	TOTAL	% MARKER
1	VV	VV	VV	VV	3963	3,6
2	WB	VR	VV	VV	3093	2,8
3	VV	VV	VV	VR	2213	2,0
4	M	M	M	M	1794	1,6
5	GM	GM	GM	GM	1619	1,5
6	VB	VB	VB	VB	1548	1,4
7	B	B	B	B	1161	1,1
8	WB	WR	VV	VB	1093	1,0
9	VV	VV	VV	VB	1088	1,0
10	H	VV	VV	VV	920	0,8

I analysen blev afgrøderne også grupperet som vintersæd (hvede, byg, rug og triticale), vinterraps, vårsæd (vårbyg, vårhvede og havre) og andre afgrøder. De 4 grupper blev derefter analyseret med hensyn til, hvor ofte de forekom i et 4-årigt sædskifte, som vist i tabel 3. Igen er det bemærkelsesværdigt, hvor dynamisk afgrødevalget er med andre afgrøder som værende hyppigst forekommende. Det var også tilfældet, når der blev analyseret på 5-årige sædskifter (data ikke vist). Tabel 3 viser igen de efterårssæede afgrøders store dominans i afgrødevalget.

TABEL 2.

DE 10 MEST FOREKOMMENDE 6-ÅRIGE SÆDSKIFTER I DANMARK BEREGNET PÅ BAGGRUND AF 22.000 MARKER MED KENDT SÆDSKIFTE I PERIODEN. VV: VINTERHVEDE, WB: VINTERBYG, VR: VINTERRAPS, M: MAJS, GM: GRÆSMARKER, VB: VÅRBYG, B: BRAK, JT: JULETRÆER.

SÆDSKIFTE	ÅR 1	ÅR 2	ÅR 3	ÅR 4	ÅR 5	ÅR 6	TOTAL	% MARKER
1	VV	VV	VV	VV	VV	VV	599	2,65
2	M	M	M	M	M	M	309	1,37
3	VV	VV	VV	VV	VV	VR	260	1,15
4	WB	VR	VV	VV	VV	VV	237	1,05
5	B	B	B	B	B	B	169	0,75
6	GM	GM	GM	GM	GM	GM	152	0,67
7	B	B	B	B	B	GM	145	0,64
8	VV	VV	VV	VV	VV	VB	131	0,58
9	VB	VB	VB	VB	VB	VB	118	0,52
10	JT	JT	JT	JT	JT	JT	96	0,42

TABEL 3.

DE 10 MEST FOREKOMMENDE 4-ÅRIGE SÆDSKIFTER, HVOR AFGRØDEGRUPPERNE: V: VINTERSÆD, R: VINTERRAPS, VS: VÅRSÆD OG A: ANDRE AFGRØDER INDGÅR MED PROCENTDELE SOM ANGIVET. ANALYSEN ER BASERET PÅ 548.112 HEKTARER.

% I SÆDSKIFTET						
SÆDSKIFTE NR.	V	R	VS	A	AREAL (HA)	% AF DET ANALYSEREDE AREAL
1	0	0	0	100	92,744	16,9
2	75	25	0	0	76,846	14,0
3	100	0	0	0	51,327	9,4
4	0	0	25	75	41,645	7,6
5	50	25	25	0	35,656	6,5
6	75	0	25	0	31,347	5,7
7	0	0	50	50	24,396	4,5
8	50	0	50	0	22,500	4,1
9	50	0	25	25	21,240	3,9
10	25	0	25	50	19,816	3,6

Vintersædsdyrkingen var tidligere ikke nær så udbredt som i dag, men forbedrede dyrkningsteknikker og øgede udbytter har ændret billedet, således at vinterhvede i dag er den største kornafgrøde med en andel på 42% af kornarealet ifølge Videncentret for Landbrugs opgørelser.

Floraundersøgelser

Den øgede vintersædsdyrkning har også afspejlet sig i udviklingen i ukrudtsfloraen, idet flere arter er gået markant frem og andre tilbage ifølge floraundersøgelser foretaget i perioderne 1967-1970, 1987-1989 og igen i 2001-2004 (bl.a. Andreasen & Stryhn, 2008). Hald (1999) anfører, at især arterne vindaks, hyrdetaske, skive-kamille, markforglemmigej, enårig rapgræs, lugtløs kamille, markærenpris, storkronet ærenpris og ager-stedmoderblomst fremmes af hyppigere vintersædsdyrkning. Især udviklingen af vindaks er bemærkelsesværdig; ingen forekomst i vinterhvede og rug i den første floraundersøgelse til i den seneste at forekomme med hyppigheder på henholdsvis 16 og 27% (Andreasen & Streibig, 2011). Ifølge Videncentret for Landbrug, som repræsenterer størstedelen af landbrugets rådgivningstjeneste, skal andre ukrudtsarter også nævnes i forbindelse med den øgede dyrkning af efterårssåede afgrøder. Denne information er ikke videnskabeligt funderet, men bygger på forespørgsler og observationer fra praksis, og her nævnes arter som ager-rævehale, gold og blød hejre, stor væselhale og burre-snerre som værende problematiske. Ager-rævehale, væselhale og hejrearterne er forholdsvis lokale ukrudtsproblemer, hvor hejrearterne endog optræder mest i bestemte områder af marken som forland, hjørner og langs skel.

Også ukrudtsproblemer knyttet til den øgede majsdyrkning – knapt 200.000 ha i 2010 (Oversigten over Landsforsøgene, 2010) - har været genstand for en evaluering af forekomsten af ukrudtsproblemer (Meissle *et al.*, 2010). Omtrent halvdelen af majs til ensilage dyrkes i et ensidigt sædskifte, og der kan gå en længere årrække, inden det brydes. Arter som enårig rapgræs, lugtløs kamille, fuglegræs, hvidmelet gåsefod, ærenprisarter, ager-stedmoder og pileurarter er alle meget almindeligt forekommende, men anses ikke for stigende problemer. Det gør derimod storkenæbarter, som er meget udbredte i majsdyrkingen, hvor også arterne grøn skærmaks og alm. hanespore anses for stigende problemer, omend de endnu ikke har samme udbredelse som storkenæbarterne (Meissle *et al.*, 2010).

Langvarige sædskifteforsøg

Danske forsøg med sammenligninger af sædskifter over længere tid er meget begrænsede. I regi af ICROFS (tidligere Forskningscenter for Økologisk Jordbrug) er der udført fastliggende økologiske sædskifteforsøg på 3 lokaliteter siden 1996. Resultaterne har imidlertid meget begrænset værdi i forhold til den konventionelle situation, fordi næringsstofforholdene, afgrødesammensætningerne og bekæmpelsesmulighederne er radikalt forskellige fra konventionel dyrkning (Rasmussen *et al.*, 2006). En generalitet kan imidlertid udledes fra dette studium samt andre studier af økologiske dyrkningssystemer, nemlig at brugen af svagere og mere usikre direkte bekæmpelsesmetoder kræver en tilsvarende øget indsats af andre tiltag, som virker hæmmende på ukrudtspopulationen (Rasmussen *et al.*, 1998). I et IPM-koncept vil herbicidindsatsen være nedsat, og en effektiv ukrudtsregulering vil derfor også kræve en strategisk anvendelse af andre dyrkningsfaktorer. I økologisk jordbrug er det især et diversificeret sædskifte med inkludering af efterafgrøder samt flerårige afgrøder f.eks. kløvergræs, der kan sikre et acceptabelt ukrudtstryk. Det tilstræbes at bryde de forskellige ukrudtsarters livscyklus og dermed forhindre en ensidig opformering af bestemte ukrudtsarter samt ikke mindst at sikre afgrøderne den bedst mulige næringsstofforsyning og dermed konkurrenceevne overfor ukrudt. Især det sidste forhold er meget centralt i økologisk jordbrug sammenlignet med IPM-systemer, hvor syntetiske gødningstyper hurtigere kan sikre næringsstofforsyningen og dermed en konkurrencestærk afgrødevekst.

I forhold til nærværende udredning er en anden dansk undersøgelse med fastliggende sædskifteforsøg – også kaldet CENTS-forsøgene – af langt større relevans end de økologiske forsøg.

I efteråret 2002 blev tre forskellige sædskifter etableret på Forskningscenter Flakkebjerg og to sædskifter på Forskningscenter Foulum (tabel 4 og 5).

TABEL 4.
SÆDSKIFTERNE PÅ FLAKKEBJERG.

År	Ensidig hvede	Vinterafgrøder	Blandet sædskifte
2003	Vinterhvede	Vinterbyg	Vinterhvede:græs ¹
2004	Vinterhvede	Vinterraps	Vårbyg:græs ¹
2005	Vinterhvede	Vinterhvede	Ærter
2006	Vinterhvede	Vinterhvede	Vinterhvede
Andel efterårssåede afgrøder 2003-2006	100 %	100 %	50 %
2007	Vinterhvede	Vinterbyg	Vinterhvede
2008	Vinterhvede	Vinterraps ³	Vinterbyg:eft.afg. ²
2009	Vinterhvede	Vinterhvede	Havre
2010	Vinterhvede	Vinterhvede	Vinterhvede:eft.afg. ²
Andel efterårssåede afgrøder 2007-2010	100 %	75%	75%
Hele perioden 2003-2010	100 %	88%	63%
Halm	Efterladt	Efterladt	Efterladt

¹ Efterafgrøde af undersået rajgræs.

² Efterafgrøde af olieræddike udsået 14 dage før høst.

³ Omsået med havre i foråret 2008.

TABEL 5.
SÆDSKIFTER PÅ FOULUM.

År	Vinterafgrøder	Blandet sædskifte
2003	Vinterbyg	Vinterhvede:græs ¹
2004	Vinterraps	Vårbyg:græs ¹
2005	Vinterhvede	Ærter
2006	Vinterhvede	Vinterhvede
Andel efterårssåede afgrøder 2003-2006	100 %	50 %
2007	Vinterbyg	Vinterhvede
2008	Vinterraps	Vinterbyg:eft.afg. ²
2009	Vinterhvede	Havre
2010	Vinterhvede	Vinterhvede
Andel efterårssåede afgrøder 2007-2010	100 %	75%
Hele perioden 2003-2010	100 %	63%
Halm	Efterladt	Efterladt

¹ Efterafgrøde af undersået rajgræs.

² Efterafgrøde af olieræddike udsået 14 dage før høst.

Alle sædskifterne på de to lokaliteter blev kombineret med følgende fire jordbearbejdningsstrategier i perioden 2002-2006:

1. Normal pløjning og såning.
2. Ikke-vendende, stubbearbejdning til 8-10 cm dybde.
3. Ikke-vendende, stubbearbejdning til 3-4 cm dybde.
4. Direkte såning.

Såning med skiveskærsmaskine, *Gaspardo*, i jordbearbejdningsstrategierne 2-4 og alm. såmaskine i strategi 1.

Fra efteråret 2006 blev jordbearbejdningerne ændret til:

1. Normal pløjning.
2. Ikke-vendende, stubbearbejdning til 8-10 cm dybde.
3. Ikke-vendende, stubbearbejdning til 18-20 cm dybde.
4. Direkte såning.

Såning med tandskærsmaskine *Horsch* i jordbearbejdningstrategierne 2-4 og alm. såmaskine i strategi 1.

Vindaks blev etableret på begge lokaliteter i 2002 med det formål at kunne opnå hurtige data for effekter på denne udbredte og særdeles tabsvoldende ukrudtsart i dansk landbrug (Melander, 1995). Vindaks anses for et af de værste ukrudtsproblemer i vintersædsdominerede sædskifter med pløjefri dyrkning (Melander *et al.*, 2008). Vindaks blev i perioden 2004-2010 tilstræbt bekæmpet med 70 % henholdsvis 90 %'s effektniveau af det valgte herbicid, hvor doseringerne blev beregnet på grundlag af Planteværn Onlines effektprofiler. I perioden 2004-2006 blev der anvendt forårsudbragt Iodosulfuron (Hussar) i kornet og Fluazifob-P-butyl (Fusildae X-tra) i de bredbladede afgrøder. Dosis var 50-80 % lavere ved 70 %'s effektniveauet sammenlignet med 90 %'s effektniveauet.

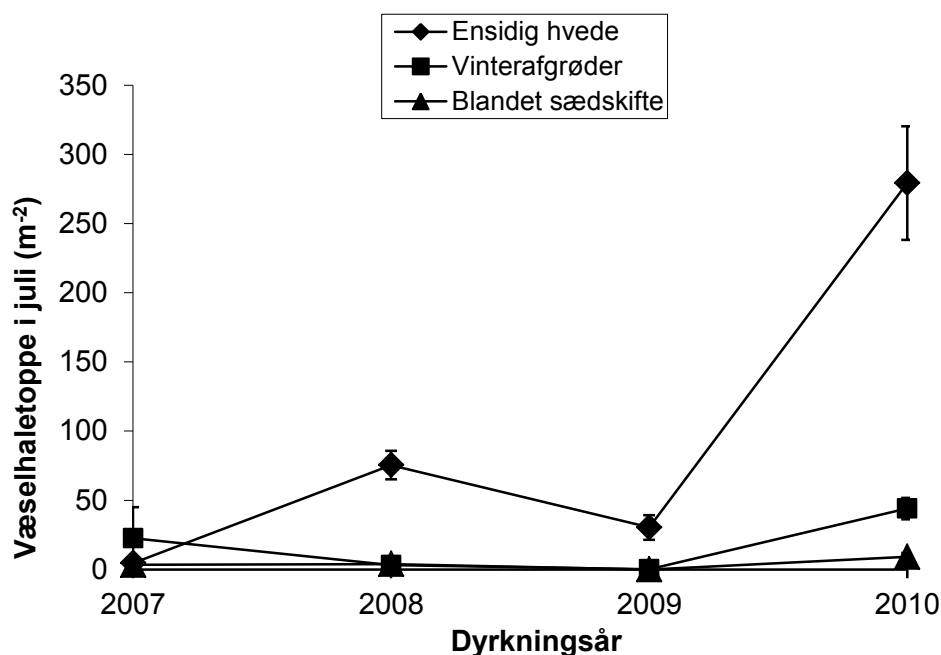
Resultaterne for vindaksens respons på sædskifte, jordbearbejdning og bekæmpelsesniveauer i perioden 2004-2006 er publiceret i Melander *et al.* (2008). Sammenfattende viste resultaterne, at under forhold, hvor jordtypen og vejrliget var til gunst for vindaks' udvikling (Foulum-lokaliteten), var 70 %'s effektniveauet kun tilstrækkeligt til at sikre udbyttet i det blandede sædskifte (tabel 5). I sædskiftet med vinterafgrøder på Foulum var pløjning og 90 %'s effektniveau derimod ikke engang tilstrækkeligt til at forhindre udbyttetab. Hvor vindakstrykket var mere moderat (Flakkebjerg-lokaliteten), var 70 %'s effektniveauet tilstrækkeligt uanset sædskiftet, forudsat at der blev pløjet.

I perioden 2007-2010 blev sprøjtestrategien mod vindaks ændret til efterårsanvendelse i vintersæden på begge lokaliteter primært med en kombination af pendimethalin (Stomp) og prosulfocarb (Boxer). Resultaterne for perioden er endnu ikke publiceret internationalt, men en foreløbig analyse af vindaksforekomsterne i vintersædsafgrøderne på de to lokaliteter (med lokalitet inkluderet som faktor) viser nogle generelle effekter. Bekæmpelsesniveauet mod vindaks er langt den mest forklarende faktor i analysen, og den vekselvirkede ikke med de øvrige faktorer (lokalitet, sædskifte og jordbearbejdning). Det betyder, at 70 % effektniveauet var signifikant ($P < 0,001$) dårligere for perioden med en vindaksbestand på 23 toppe m^{-2} optalt medio juli mod kun 5 toppe m^{-2} for 90 %'s niveauet opgjort som gennemsnit for de to lokaliteter. Flakkebjerg-lokaliteten havde generelt mere vindaks i perioden grundet lidt dårligere effekter af herbicidbehandlingerne, hvilket medførte et 6% lavere udbytte ($P < 0,001$) ved 70 %'s effektniveauet sammenlignet med 90 % niveauet. På Foulum var der ikke udbytteforskelle mellem de to bekæmpelsesniveauer vurderet på hele perioden 2007-2010, men for et enkelt år kan der have været signifikant forskel. Pløjefri dyrkning med opharvning forud for såning (jordbearbejdningstrategierne 2 og 3) førte generelt til de største vindaksforekomster, og det blandede sædskifte havde generelt lidt større forekomster end vinterafgrøde-sædskiftet. Vinterafgrøde-sædskiftet og det blandede sædskifte er i virkeligheden ikke særlig forskellige i perioden 2007-2010, da der indgår den samme mængde vintersæd (75%). Hele analysen kan sammenfattes til, at en nedsat kemisk bekæmpelsesindsats, med risiko for varierende effekter mod en tabsvoldende ukrudtsart som vindaks, kan medføre økonomiske tab i sædskifter med 75% vintersæd eller mere – ensidig hvede på Flakkebjerg udviste samme respons. I udenlandske undersøgelser har man også fundet høje effektkrav for at kunne opnå en rimelig bekæmpelse af ager-rævehale i vintersædsdominerede sædskifter (bl.a. Zwerger *et al.*, 1990).

En mindre justering af sædskiftet kan nedbringe problemer med en anden aktuel græsukrudtsart: stor væselhale. Arten er vanskelig at bekæmpe kemisk og kan volde store problemer i frøgræsmarker, især rødsvingel. Den kan også blive et problem i vinterhvede dyrket pløjefrit. Væselhale blev rapporteret som værende et problem på Sjælland for få år tilbage, men ses nu over

det meste af landet. Stor væselhale blev observeret i CENTS-forsøget på Flakkebjerg-lokaliteten første gang i 2006, og figur 1 viser udviklingen i de 3 sædskifter kombineret med pløjefri dyrkning med opharvning til 8-10 cm forud for såning (jordbearbejdningsstrategi nr. 2) for perioden 2007-2010. Væselhale reagerede meget kraftigt på pløjning og forekom ikke, hvor der blev pløjet. Kombineres ensidig hvededyrkning og pløjefri dyrkning, kan problemet stige betragteligt, hvorimod et mere blandet sædskifte, især med inkludering af forårssåede afgrøder, kan modvirke en opformering, selv under pløjefri dyrkningsforhold. I sædskiftet med vinterafgrøder (jf. tabel 4) skyldes den lave væselhaleforekomst, at vinterraps blev omsået med forårssået havre i 2008.

I CENTS-forsøgene indgik et referenceled, hvor vindaks ikke var etableret fra forsøgenes begyndelse. I disse referenceled blev den naturligt forekommende ukrudtsflora bekæmpet hvert eneste år efter Planteværn Onlines anbefalinger. I april 2010, efter 8 års forløb, blev der foretaget en grundig optælling af alle forekommende arter inden bekæmpelse, som var udsat fra efteråret på grund af vejrforholdene. Denne optælling kunne således give indikationer på akkumulerede effekter som følge af enten sædskifte- og/eller jordbearbejdnings effekter. I tabel 6 er det angivet hvilke arter og grupper af arter, der i foråret 2010 kunne associeres til forsøgsfaktorerne. Det er karakteristisk, at jordbearbejdnings generelt har påvirket flere arters forekomster. Forskellene mellem sædskifterne har ikke været store nok til for alvor at give markante effekter, og sædskifterne har derfor haft underordnet betydning i forhold til jordbearbejdning. Tilsvarende konklusioner kan udledes af flere udenlandske undersøgelser, som samtidig påviser, at sædskiftet skal have en betydelig grad af diversitet, for at ukrudtsfloraen og dermed bekæmpelsesbehovet påvirkes mærkbart (Barberi & Cascio, 2001; Kegode *et al.*, 1999; Pallut, 1999; Teasdale *et al.*, 2004; Liebman *et al.*, 2008). Den forøgede græsukrudtsforekomst i ensidig hvede og vinterafgrøder på Flakkebjerg skyldtes primært den høje forekomst af væselhale, der reagerede meget kraftigt på sædskifte. Den mindre forekomst af ager-stedmoder på Foulum i det blandede sædskifte - og dermed højere forekomst i vinterafgrøde-sædskiftet - er et udtryk for utilstrækkelige herbicideffekter mod stedmoder i de første forsøgsår i de efterårssåede afgrøder, hvor vinterafgrøde-sædskiftet havde flere efterårssåede afgrøder end det blandede sædskifte. Det samme er sandsynligvis gældende for lugtløs kamille i vinterafgrøde-sædskiftet på Flakkebjerg. Interessant er også udviklingen af burre-snerre, der ikke blev observeret ved forsøgets start i nævneværdig grad. Først i 2006 blev arten optalt specifikt på Flakkebjerg, hvor de pløjefri jordbearbejdningsstrategier (nr. 2-4) alle havde signifikant mere burre-snerre end de pløjede. På trods af et løbende herbicidvalg med god effekt på burre-snerre er den fortsat med at opformeres i de pløjefri forsøgsled, hvilket også er slået igennem på den lettere jord i Foulum ved 2010-optællingen. Engelske undersøgelser bekræfter burre-snerrens massive opformering under pløjefri dyrkning specielt i vedvarende vinterhvede. Fra engelsk side hævdes det, at det i praksis kan være meget svært at opnå tilstrækkelige herbicideffekter for at undgå en opformering af arten, når ensidig vinterhvede og pløjefri dyrkning kombineres (Wilson & Wright, 1991).



FIGUR 1. UDVIKLINGEN AF STOR VÆSELHALE I CENTS-FORSØGET PÅ FLAKKEBJERG (JB6) I PERIODEN 2007-2010. UDVIKLINGEN ER VIST FOR JORDBEARBEJDNINGSSTRATEGI NR. 2 I ENSIDIG HVEDE, VINTERAFGRØDE-SÆDSKIFTET (DOG MED HAVRE I 2008 GRUNDET OMSÅNING JF. TABEL 4) OG DET BLANDEDE SÆDSKIFTE. ARTEN BLEV OBSERVERET FØRSTE GANG I 2006.

TABEL 6. EFFEKTER AF SÆDSKIFTE OG JORDBEARBEJDNING PÅ SÆRLIGT HYPPIGT FOREKOMMENDE UKRUDTSARTER OPTALT I CENTS-FORSØGENE I APRIL 2010 PÅ FLAKKEBJERG OG FOULUM.

Lokalitet	Ukrudtsart	Signifikante effekter af sædskifte og jordbearbejdning
Flakkebjerg	Total ukrudtsbestand	Pløjefri jordbearbejdning** ↑
	Græsukrudt*	Ensidig hvede og vinterafgrøder ↑ pløjefri jordbearbejdning** ↑
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	Pløjefri jordbearbejdning** ↑
	Lugtløs kamille (<i>Tripleurospermum inodorum</i>)	Vinterafgrøder ↑
	Korn-valmue (<i>Papaver rhoeas</i>)	Direkte såning ↓
	Ager-stedmoder (<i>Viola arvensis</i>)	Direkte såning ↓
	Hyrdetaske (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	Direkte såning ↓
Foulum	Total ukrudtsbestand	Direkte såning ↓
	Vindaks (<i>Apera spica-venti</i>)	Pløjning ↓ Direkte såning ↓
	Enårig rapgræs (<i>Poa annua</i>)	Pløjning ↑ Direkte såning ↓
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	Pløjefri jordbearbejdning** ↑
	Ager-stedmoder (<i>Viola arvensis</i>)	Blandet sædskifte ↓
	Hyrdetaske (<i>Capsella bursa-pastoris</i>)	Direkte såning ↓

* Græsukrudt optalt samlet, da de enkelte arter ikke kunne identificeres med sikkerhed. Græsukrudtsarterne var primært vindaks, stor væselhale og enårig rapgræs.
 ** Er en samlet betegnelse for alle de 3 pløjefri jordbearbejdningsstrategier: 2, 3 og 4. De 3 led blev testet samlet mod pløjning.
 ↑ Angiver, at arten har signifikant højere tæthed som følge af sædskifte- og/eller jordbearbejdningseffekter.
 ↓ Angiver, at arten har signifikant lavere tæthed som følge af sædskifte- og/eller jordbearbejdningseffekter.

Vurdering af sædskifter anvendt i praksis

Tabel 7 sammenstiller hvilke enårige problemukrudtsarter, der vil være knyttet til de hyppigst forekommende sædskifter præsenteret i tabel 1 og 2, deres livsvarigheder samt deres bekæmpelsesbehov. Sammenstillingen er foretaget på baggrund af den gennemgåede litteratur, erfaringer og analysen af CENTS-forsøgene, og bekæmpelsesbehovene er en samlet vurdering. En række andre ukrudtsarter vil også optræde i de forskellige sædskifter, men de anses ikke for lige så problematiske.

Sædskifterne bestående af 100 % efterårssæede afgrøder vil i sagens natur fremme en vinterannuel flora, og ikke-vendende jordbearbejdning forstærker presset markant fra arter som ager-rævehale, vindaks og burre-snerre. Langstakket og stor væselhale, gold og blød hejre kan også fremmes kraftigt af vekselvirkningen mellem sædskifte og jordbearbejdning, men hejrearterne optræder ofte meget lokalt, mens væselhalearterne er under hastig udbredelse.

Ensidig majsdyrkning vil fremme de sommer-enårige og sent fremspirende og varmeelskende græsarter skærmaks og hanespore. Storkenæbarternes udbredelse i majsdyrkingen er et udtryk for dårlige bekæmpelsesmuligheder.

Tilsvarende majs vil ensidig vårbyg over tid føre til en ukrudtsflora domineret af sommer-enårige arter. I den sammenhæng kan flyve-havre være særlig problematisk, men også burre-snerre i pløjefri dyrkningssystemer kan medføre alvorlige problemer.

Generelt gælder det, at arter med en livsvarighed, der passer godt med den dominerende livsvarighedsform hos de hyppigst dyrkede afgrødearter, vil fremmes kraftigt, såfremt bekæmpelsesløsningerne er svage eller mangelfulde. Hvor store de økonomiske konsekvenser vil være er igen afhængig af den enkelte ukrudtsarts konkurrenceevne. De fleste af arterne nævnt i tabel 7 anses i den sammenhæng for særligt tabsvoldende (bl.a. Melander, 1995), og der vil være et betydeligt økonomisk incitament for at bekæmpe dem. En art som enårig rapgræs er ganske vist ikke særlig konkurrencedygtig (Mounier-Jolain *et al.*, 2002), men i græsfrøafgrøder er den problematisk, fordi frøene er svære at rense fra kulturfrøene. I en åben rækkeafgrøde som majs vil de fleste ukrudtsarter være tabsvoldende – selv arter med en mere beskeden statur som liden nælde og liden vortemælk.

Rodukrudtsarter som alm. kvik, ager-tidsel, mælkebøtte, grå bynke m.fl. er ikke tilknyttet bestemte livscyklusser hos afgrødearterne i samme grad som de enårige arter. Deres forekomster er langt mere et spørgsmål om den enkelte afgrødes konkurrenceevne, jordbearbejdningsformen, og de bekæmpelsesmuligheder afgrøderne åbner op for. Anvendelsen af glyphosat har i den sammenhæng haft en meget stor betydning, især mod kvik, men også andre herbicider har haft betydning eks. MCPA mod ager-tidsel. Pløjefri dyrkning vil selvfølgelig kunne fremme udbredelsen af flerårigt ukrudt, men i CENTS-forsøgene er der ingen rodukrudtsart, der på noget tidspunkt har givet problemer. Både alm. kvik og ager-tidsler har forekommet i forsøgene fra starten af, men altid i beskedent omfang. Forbruget af glyphosat har været højere i de pløjefri led, fordi det anvendes til at "rense jorden" inden såning. MCPA har også været anvendt mod ager-tidsel i enkelte år.

TABEL 7.

DE MEST FOREKOMMENDE SÆDSKIFTER I TABEL 1 OG 2 MED ANGIVELSE AF ENÅRIGE PROBLEMUKRUDTSARTER, DERES LIVSVARIGHEDER OG BEKÆMPELSESBEHOV MED OG UDEN VENDENDE JORDBEARBEJDNING. AFGRØDEFORKORTELSERNE ER TILSVARENDE TABEL 1 OG 2.

Sædskifte	Problemarter	Livsvarighed	Bekæmpelsesbehov	
			Vendende jordbearbejdning	Ikke-vendende jordbearbejdning
VV-VV-VV-VV	Enårig rapgræs (<i>Poa annua</i>)	VA-SA	**	**
WB-VR-VV-VV	Vindaks (<i>Apera spica-venti</i>)	VA	***	***
VV-VV-VV-VR	Ager-rævehale (<i>Alopecurus myosuroides</i>)	VA	***	***
	Gold hejre (<i>Anisantha sterilis</i>)	VA-(SA)	*	***
	Blød hejre (<i>Bromus hordeaceus</i>)	VA-SA	*	***
	Langstakket og Stor væselhale (<i>Bromoides</i> spp.)	VA	*	***
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	VA-SA	**	***
	Korn-valmue (<i>Papaver rhoeas</i>)		**	**
	Floraen generelt	VA-(SA)	**(*)	***
M-M-M-M	Storkenæbarter (<i>Geranium</i> spp.)	VA-SA	***	***
	Grøn skærmaks (<i>Setaria viridis</i>)	SA	**	***
	Alm. Hanespore (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	SA	**	***
	Vortemælkarter (<i>Euphorbia</i> spp.)	SA	**	?
	Sort natskygge (<i>Solanum nigrum</i>)	SA	**	?
	Liden nælde (<i>Urtica urens</i>)	SA	**	?
	Floraen generelt	(VA)-SA	**	***
VB-VB-VB-VB	Flyvehavre (<i>Avena fatua</i>)	SA	**	***
	Ager-sennep (<i>Sinapis arvensis</i>)	SA	**	?
	Hanekroarter (<i>Galeopsis</i> spp.)	SA	**	?
	Hvidmelet gåsefod (<i>Chenopodium album</i>)	SA	**	?
	Pileurterter (<i>Polygonum</i> spp.)	SA	**	?
	Gul okseøjle (<i>Chrysanthemum segetum</i>)	SA	**	?
	Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>)	VA-SA	*	***
	Floraen generelt	(VA)-SA	**	***
*	lavt bekæmpelsesbehov, arten vil ikke bidrage til, at måltallet for behandlingsindekset ikke kan holdes			
**	middel bekæmpelsesbehov, mindre forekomster vil næppe bidrage til en overskridelse af måltallet			
***	stort bekæmpelsesbehov. Vanskeligt at holde måltallet			
VA	overvintrende enårig (vinterannuel)			
SA	sommer-enårig (sommerannuel)			
VA-SA	arter med begge livsvarighedstyper			
?	effekten ukendt eller svær at vurdere			

Eksempler på kvantitative effekter af sædskifteændringer på forekomsten af vindaks og sædskiftets produktionspotentiale

Sædskifteeffekter omtales ofte kvalitativt. Mere præcise beregninger af, hvor meget en given ukrudtsflora vil ændres ved en ændring af sædskiftet, og hvor meget sædskiftets udbyttepotentiale samtidig ændres, er ofte ganske vanskelige at opnå. Vanskeligheden består i, at der er tale om langsigtede effekter med mange vekselvirkninger med andre faktorer. Sådanne beregninger vil kræve adgang til rimelige værdier for de fremherskende ukrudtsarters populationsdynamik og påvirkning af afgrødeudbyttet. Ofte indgår ukrudtsarterne i blandede bestande, som yderligere vanskeliggør en mere langsigtet kvantificering af sædskifteændringer. For arten vindaks forholder det imidlertid sig anderledes, da der tidligere er lavet rimeligt gode estimater for artens populationsdynamik i flere afgrøder samt artens påvirkning af forskellige afgrøders udbytte. Vindaks optræder ofte som eneste dominerende ukrudtsart, da tokimblandet ukrudt som regel er bekæmpet effektivt. Tilmed er effekterne fra vindaks med hensyn til både opformering og skadevirkninger af afgrøden så markante, at der med rimelighed kan gives estimater for effekterne af sædskifteændringer.

På basis af en populationsdynamikmodel publiceret i Melander (1993) samt parameterværdier for udbyttetab som følge af konkurrence fra vindaks (se bl.a. Melander 1995; Melander *et al.*, 2008) er det muligt at kæde populationsdynamikken sammen med effekterne på udbyttet. Hermed kan det kvantificeres, hvordan vindaks og afgrødeudbyttet vil påvirkes ved ændringer af et givent sædskifte. Denne sammenbygning er også vist i Melander (1993). Artiklen angiver også parameterværdierne for vindaks' forskellige faser i dens livscyklus: fremspiring, dødelighed, frøproduktionsevne, frøtab i stubperioden, frøtab ved ophold i jorden etc. Nogle af parameterværdierne i denne fremstilling er antaget, da der f.eks. ikke findes direkte estimater for vinterraps. For denne afgrøde er estimater for vinterrug blevet anvendt, da vinterraps antages at have samme høje konkurrenceevne. I analysen er der taget udgangspunkt i et 6-årigt sædskifteforløb:

a. Vinterhvede – vinterhvede – vinterbyg – vinterraps – vinterhvede – vinterhvede

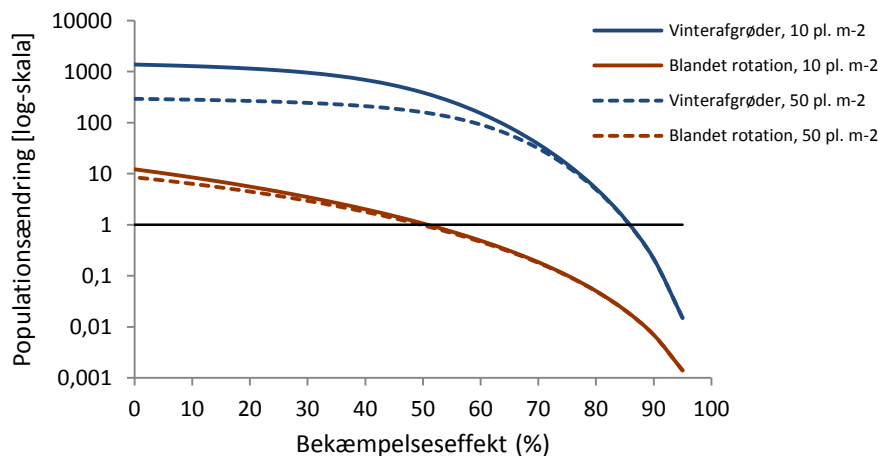
I figur 2 er det vist, hvordan en vindaksbestand opformerer eller decimeres relativt alt afhængig af vindakstrykket (udgangsbestanden af vindaks) ved sædskiftets start og det opnåede effektniveau af bekæmpelse. (Y-aksen i figur 2 er udtrykt som en faktor for ændring af populationen). Sædskifte a. er i figur 2 sammenlignet med sædskiftet:

b. Vinterhvede – vinterhvede – vårbyg – vårbyg – vinterbyg - vinterraps

Altså en brydning af det vintersædsdominerede sædskifte med to vårafgrøder i træk. Analysen viser, at sædskifte a. kræver et effektniveau mod vindaks på ca. 90 % ved hver eneste bekæmpelse for at undgå en opformering af bestanden. Bemærkelsesværdigt er det også, hvor hurtigt vindaksbestanden opformerer, så snart effektniveauet falder, f.eks. ved resistensdannelse mod det anvendte græsherbicide. Indgår der derimod vårsæd i sædskiftet, falder effektkravet betragteligt til undgåelse af en opformering af vindaksbestanden.

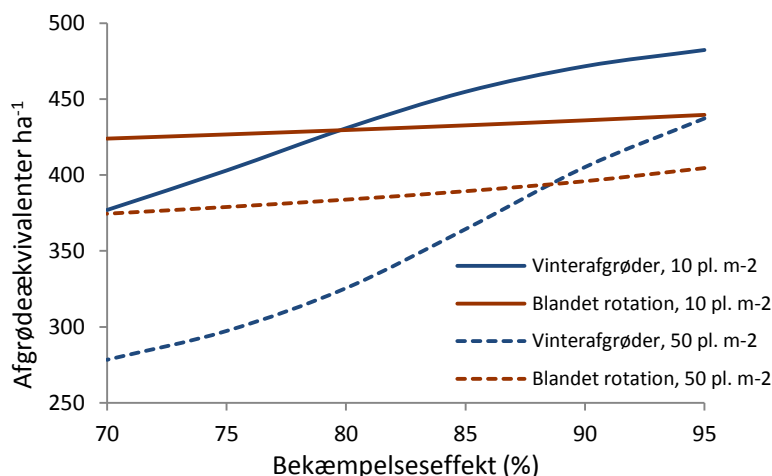
Sædskiftet a.'s store følsomhed for fald henholdsvis stigninger i effektniveauet kommer også tydeligt til udtryk i sædskiftets samlede produktionspotentiale udtrykt som den totale produktion af afgrødeækvivalenter efter et rotationsforløb på 6 år. En afgrødeækvivalent er et mål for afgrødens værdi som humanernæring og dermed indirekte værdien som dyrefoder. Afgrødeækvivalenter bruges i den videnskabelige litteratur i forbindelse med sammenligninger af produktionssystemer (bl.a. Hülsbergen *et al.*, 2001; Deike *et al.*, 2008). I denne sammenhæng justeres udbytterne ved at gange udbyttene med en faktor. Udbyttene for vinterhvede er ganget med faktoren 1,07, vårbyg/vinterbyg med 1 og vinterraps med 2,46. Både vinterhvede og især vinterraps har således en højere ernæringsværdi end byg, hvilket primært skyldes et større energiindhold pr. kg kerne/frø.

Udbyttene pr. ha er sat til 80 hkg for første års vinterhvede, 75 hkg for anden års hvede, 70 hkg for vinterbyg, 40 hkg for vinterraps og 60 hkg for vårbyg. I figur 3 er ydeevnen for sædskifterne a. og b. vist ved forskellige bekæmpelsesniveauer og startpopulationer af vindaks. Er vindakstrykket højt som ved en startpopulation på 50 planter m⁻², skal effektniveauet mod vindaks være på ca. 88% eller højere, hvis sædskifte a. skal fastholde en højere produktionsevne end sædskifte b. Under ukrudtsfri forhold vil sædskifte a. altid være mere ydedygtig end sædskifte b. I tilfælde af større vindaksforekomster vil en inddragelse af vårsæd i sædskiftet sikre en mere stabil produktion (fladere kurve for blandet rotation i figur 3) og ikke stille de samme høje effektkrav som sædskifter med 100 % overvintrende afgrøder. Ved et lavere vindakstryk er behovet for en ændring af sædskiftet selvsagt mindre udtalt.



FIGUR 2.

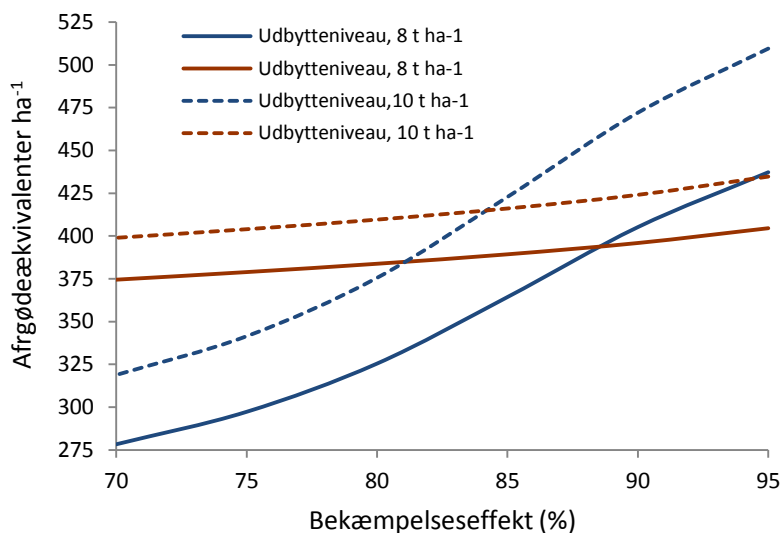
SAMMENHÆNGEN MELLEM BEKÆMPELSEEFFEKTEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DE RELATIVE ÆNDRINGER AF VINDAKSBESTANDEN (FAKTOR FOR ÆNDRING), SOM BEKÆMPELSESNIVEAUET VIL MEDFØRE EFTER 6 ÅRS FORLØB I TO SÆDSKIFTER A. (VINTERAFGRØDER) OG B. (BLANDET SÆDSKIFTE). SAMMENHÆNGENE ER VIST FOR TO STARTPOPULATIONER AF VINDAKS: 10 PLANTER M⁻² OG 50 PLANTER M⁻². ER POPULATIONSÆNDRINGEN OVER 1, SKER DER EN STIGNING AF BESTANDEN OG TILSVARENDE EN NEDGANG FOR VÆRDIER UNDER 1.



FIGUR 3.

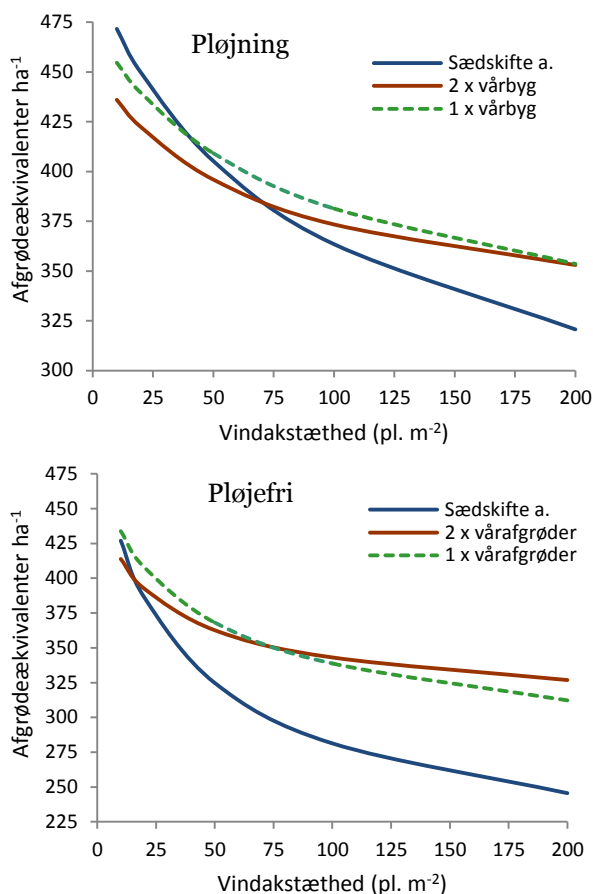
SAMMENHÆNGEN MELLEM BEKÆMPELSEEFFEKTEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DEN UDBYTTEMÆSSIGE PRODUKTIONSEVNE AF SÆDSKIFTERNE A. (VINTERAFGRØDER) OG B. (BLANDET ROTATION) UDTRYKT SOM PRODUKTIONEN AF AFGRØDEÆKVIVALENTER EFTER 6 ÅRS FORLØB. SAMMENHÆNGENE ER VIST FOR TO STARTPOPULATIONER AF VINDAKS: 10 PLANTER M⁻² OG 50 PLANTER M⁻².

Som tidligere nævnt er avlernes valg af afgrøder i høj grad styret af afgrødepriser og foderværdi. Vinterhvede har i den sammenhæng en fremtrædende plads, og ofte kræver det stærke argumenter at få praktikere til at udskifte vinterhvede med f.eks. vårkorn i 1 til 2 år. I figur 4 er det illustreret, hvad udbyttene for vinterhvede betyder for produktionsevnen af sædskifterne a. og b. ved et højt vindakstryk på 50 planter m⁻² som udgangsbestand. Punkterne, hvor de to sædskifter krydser hinanden og dermed er ligeværdige, indtræder ved et lidt lavere bekæmpelsesniveau for et udbyttene af hvede på 100 hkg ha⁻¹ end ved udbyttene på 80 hkg ha⁻¹. Igen er det bemærkelsesværdigt, hvor forholdsvis udbyttestabil sædskifte b. er i forhold til sædskifte a., selvom effektniveauet skulle falde.



FIGUR 4. SAMMENHÆNGEN MELLEM BEKÆMPELSEEFFEKTEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DEN UDBYTTEMÆSSIGE PRODUKTIONSEVNE (ANTAL AFGRØDEÆKVIVALENTER EFTER 6 ÅRS FORLØB) AF SÆDSKIFTERNE A. (VINTERAFGRØDER, BLÅ KURVER) OG B. (BLANDET ROTATION, RØDE KURVER) VED UDBYTTENIVEAUERNE 8 T HA⁻¹ OG 10 T HA⁻¹ FOR VINTERHVEDE. STARTPOPULATIONEN AF VINDAKS ER 50 PLANTER M⁻².

I ovenstående scenariefremstillinger er der kun fokuseret på effekten af 2 års vårafgrøder. Spørgsmålet er, hvordan effekterne vil se ud med kun et års vårafgrøde til at bryde vindaksens opformering i de efterårssåede afgrøder, som primært foregår i hvede. I figur 5 er der givet et eksempel på effekterne af at erstatte første års vårafgrøde i sædskifte b. med vinterhvede, således at der kun er vårbyg én gang i sædskifteforløbet. I et sædskifte med pløjning og en høj bekæmpelseeffekt (90 %) mod vindaks er sædskiftet med kun én vårafgrøde mest produktiv ved en vindaksudgangsbestand i intervallet 30-200 planter m⁻², mens sædskiftet med 2 x vårafgrøder er mest produktiv ved bestande større end 200 planter m⁻². En ændring af sædskiftet med 100 % vinterafgrøder kan ikke betale sig ved et vindakstryk lavere end 30 planter m⁻². Alt dette forudsætter, at det høje effektniveau kan fastholdes – hvis ikke, vil 2 x vårafgrøder blive konkurrencedygtig ved selv de lidt lavere vindaksbestande. Ved et pløjefrit dyrkningssystem skærpes kravet til inddragelse af vårafgrøder, fordi denne dyrkningsform skaber særlig gode betingelser for opformering af græsukrudt. I analysen er bekæmpelseeffekten sat til 95% - højere end for pløjning for overhovedet at kunne identificere om sædskiftet med 100 % vinterafgrøder på noget tidspunkt var mere produktiv end de to øvrige sædskifter. Kun ved meget lave vindaksbestande, mindre end 10 planter m⁻², kunne vinterafgrødesædskiftet nogenlunde matche de øvrige sædskifter. Sædskiftet med to års vårbyg er her det mest yderlige system ved vindaksbestande større end 75 planter m⁻². Argumentet for en aktiv udnyttelse af sædskiftet som medspiller i bestræbelserne på at håndtere vindaksforekomster uden et alt for stort herbicidforbrug træder tydeligt frem for pløjefri dyrkning.



FIGUR 5. SAMMENHÆNGEN MELLEM BESTANDEN AF VINDAKS I EFTERÅRSSÅEDE AFGRØDER OG DEN UDBYTTMÆSSIGE PRODUKTIONSEVNE (ANTAL AFGRØDEÆKVIVALENTER EFTER 6 ÅRS FORLØB) AF SÆDSKIFTERNE A. (VINTERAFGRØDER, BLÅ KURVE), B. (BLANDET ROTATION, RØD KURVE) OG B. MED KUN ÉN VÅRBYGAFGRØDE (GRØN STIPELET KURVE) VIST FOR HENHOLDSVIS ET PLØJET OG ET PLØJEFRIT SYSTEM. I SCENARIET MED PLØJNING ER BEKÆMPELSESEFFEKTEN SAT TIL 90 %, MENS DEN ER SAT TIL 95% I DET PLØJEFRI, HVOR PARAMETEREN FREMSPIRING ER HÆVET GRUNDET OPHOBNING AF FRØ I DE ØVERSTE JORDLAG.

De viste eksempler på simuleringer af kvantitative effekter af sædskitteændringer i forbindelse med bekæmpelse af vindaks kan i princippet udvides til et utal af forskellige scenarier, når først simuleringværktøjet er formuleret. Af hensyn til overskueligheden er de viste eksempler valgt for at illustrere forhold, som anses centrale for håndteringen af vindaks. De viste effekter vil sandsynligvis også være gældende for andre enårige græsukrudsarter med en lignende biologi og vækstforløb, f.eks. ager-rævehale. Både de viste og de ikke-viste scenariekørsler støtter, hvad der i øvrigt anføres i dette bilag om sædskitets store betydning for bekæmpelsen af græsukrudt.

Ændringer af sædskitet og betydningen for ukrudtsfloraen, bekæmpelsesbehovet og IPM-løsninger

Set på landsplan giver de vintersædsbaserede sædskitter de største ukrudtsproblemer, fordi især græsukrudsproblematikken lægger pres på dyrkningssystemernes ydeevne (eksemplificeret i afsnit 5) og dermed på økonomien i planteavl. Avlerne tvinges over i et uønsket stort herbicidforbrug, og da vintersæden dækker en stor del af landsbrugsarealet, kan det nationalt få stor betydning. Naturligvis er der mange lokale ukrudtsproblemer knyttet til specielle afgrøder f. eks. sukkerøer, spinat, konservesarter m.m. Sædskitter baseret på forårssåede afgrøder kan selvfølgelig også føre til store lokale problemer med f.eks. flyve-havre, men samlet betragtet er det de vintersædsbaserede sædskitter, der er mest problematiske.

I forbindelse med et nyligt afsluttet EU-Network of Excellence, ENDURE, foretog et ekspertpanel bestående af forskere og rådgivere en vurdering af mulighederne for at nedbringe pesticidforbruget

i nordeuropæiske sædskifter med en høj andel af vintersæd og vinterraps (Ferguson & Evans, 2010; Fortino *et al.*, 2010; Melander *et al.*, 2010). Ændringer af sædskiftet var en af faktorerne, som blev anvendt i de opstillede dyrkningsscenarier. Scenarierne byggede på forskningsresultater, erfaringer fra praksis, samt hvad panelet vurderede kunne finde anvendelse i nærmeste fremtid. I tabel 8 er 5 sædskifter opstillet på baggrund af dette EU-arbejde. Sædskifterne er tænkt i forhold til et dansk svinebrug med en stor vintersædsandel i sædskiftet og potentielt store problemer med græsukrudt.

Sædskifte nr. 1 (referencesædskifte) er et almindeligt anvendt sædskifte i dag (jævnfør tabel 1-3) især på mange svinebrug, hvor ukrudtsfloraen typisk vil være sammensat, som angivet i tabel 7.

Sædskifte nr. 2 er foreslået fra dansk side i ENDURE samarbejdet som et sædskifte, der kunne være relevant for et svinebrug i Danmark med en intensiv dyrkning af vinterhvede til foder – måske ikke på hele ejendommens areal, men de steder hvor græsukrudt begynder at give problemer. Inddragelsen af vårbyg og efterafgrøder vil dæmpe opformeringen og øge afgrødediversiteten fra 3 til 5 afgrødearter. Efterafgrøden er introduceret af hensyn til kravene for plantedække for at modvirke udvaskning af næringsstoffer.

Sædskifte nr. 3 er en udvidelse af sædskifte nr. 2 og blev også foreslået i ENDURE-sammenhæng. Sædskiftet er tænkt for situationer, hvor græsukrudtsproblemet er blevet særligt stort, og hvor der er behov for en pause i vintersædsdyrkingen. To år med en forårssået afgrøde skønnes at kunne nedbringe større græsukrudtsproblemer markant. Om nedgangen er stor nok til igen at tillade en intensiv vintersædsdyrkning, afhænger af effekten af pausen. På svinebrug med et stort behov for foderkorn kan sædskifte 3 kun foregå på dele af ejendommen med store græsukrudtsproblemer, da vårbyg ikke giver den samme mængde energirigt foderkorn som vinterhvede og -byg.

Sædskifte nr. 4 minder en del om sædskifte 2, men vinterbyg er nu udskiftet med kernemajs ganske vist på et andet sted i sædskiftet. (Sædskiftet er ikke foreslået i forbindelse med ENDURE-arbejdet). Kernemajs er et glimrende supplement i svinefordringen og giver et meget højt udbytte. Om sædskiftet er tilstrækkeligt til at sikre foderforsyningen afhænger af en række andre forhold. Sædskiftet kan måske kun være aktuelt på en del af arealet. Kernemajs kan stadig kun dyrkes tilfredsstillende i de sydlige landsdele. Som sædskiftesanerende afgrøde er den endnu bedre at inddrage i en 2-årig kombination med vårbyg frem for f.eks. vårbyg to år i træk. Kernemajsen sås senere på foråret og vil derfor stimulere andre dele af ukrudtsfloraen til spiring, f.eks. sort natskygge, liden nælde, grøn skærmaks, hvorimod andre arter mere tilknyttet korndyrkning ikke stimuleres i samme grad. Majsen har et andet vækstforløb og en længere vækstperiode, og den etableres på rækker, som gør det muligt at anvende alternative bekæmpelsesmetoder f.eks. falsk såbed og radrensning. Sædskiftet er tæt på en idealsituation, da flere forskellige afgrødetyper og etableringstidspunkter er blandet sammen. Ensidige ukrudtsproblemer elimineres, og floraen vil primært bestå af VA-SA arter.

Sædskifte nr. 5 tager udgangspunkt i et lignende fransk ENDURE-forslag. Sædskiftet er tænkt som et modelsædskifte for en idealsituation i forhold til forebyggelse af ukrudtsproblemer i enårige afgrøder. Inddragelsen af en flerårig afgrøde i sædskiftet, der afhugges flere gange i en vækstsæson, vil generelt nedbringe frøbanken af enårige ukrudtsarter markant. Lucerne er vist her, men afgrøden kunne være en anden flerårig afgrøde med lignende egenskaber. I selve lucerneafgrøden er der ikke behov for herbicider bortset fra eventuel nedvisning med glyphosat ved lucernens ophør forud for vinterraps. Der vil heller ikke være behov for herbicidanvendelse i den efterfølgende vinterraps grundet lucernens sanerende effekt. Sandsynligvis kan der opstå en situation, hvor herbicider kun anvendes i 50 % af tiden eller endnu mindre, hvis der kun dyrkes vinterhvede ét år i et sædskifteforløb. Sædskiftet vil naturligvis ikke rumme tilstrækkeligt med foderkorn, og lucerne finder ingen afsætning pt. I et fremtidsscenarium med stor interesse for afgrøder til fremstilling af biobrændsler kunne sædskiftet være relevant – måske ikke med lucerne til biobrændsel men en anden flerårig kultur med stor biomasseproduktion.

TABEL 8.
EKSEMPLER PÅ SÆDSKIFTER TIL SVINEBRUG, HVOR BEHOVET FOR HERBICIDINDSATS FALDER GRADVIST FRA SÆDSKIFTE 1 TIL 5.

Sædskifte	Ukrudtsflora	Bekæmpelsesbehov
1. Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede	Foruden vinterannuelle græsukrudsarter typisk VA-SA-arter som: Burre-snerre (<i>Galium aparine</i>) Ærenprisarter (<i>Veronica</i> spp.) Ager-Stedmoder (<i>Viola arvensis</i>) Lugtløs kamille (<i>Tripleurospermum inodorum</i>) Fuglegræs (<i>Stellaria media</i>) Tvetandararter (<i>Lamium</i> spp.) Hyrdetaske (<i>Capsella bursa-pastoris</i>) Markforglemmigej (<i>Myosotis arvensis</i>)	Generelt stort bekæmpelsesbehov mod græsukrudt, burre-snerre, kamille og korn-valmue.
2. Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg	Floraen fra referencesædsnittet vil fortsat dominere, men forekomsten af græsukrudt vil dæmpes. I vårbyg vil der også være SA-arter, men i lav forekomst.	Væsentligste besparelse i forhold til sædsnitte 1: græsukrudtsmidler skal ikke anvendes i 20 % af tiden.
3. Vinterbyg Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg+efterafgrøde Vårbyg	Floraen fra referencesædsnittet vil fortsat dominere, men sædsnittet vil virke mere sanerende på græsukrudt end sædsnitte 2. I vårbyg vil der være SA-arter, men i lav til moderat forekomst.	I forhold til sædsnitte 1. vil græsherbicer kunne undværes i 33% af tiden.
4. Vinterraps Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Kernemajs Vårbyg	VA-SA arterne svarende til reference sædsnittet vil fortsat forekomme, men græsukrudsarterne og burre-snerre vil forekomme moderat og kontrollable. SA-arter knyttet til majs og vårbyg vil kun forekomme i mindre omfang, da de to afgrødearter kun optræder 1 ud af 5 år.	Græsherbicer kan undværes i raps og forårssåede afgrøder, hvilket giver en 60 % besparelse af græsherbicer sammenlignet med sædsnitte 1.
5. Vinterhvede Vinterhvede+efterafgrøde Vårbyg+lucerneudlæg Lucerne Lucerne Vinterraps	Ingen ensidige ukrudtsproblemer, en meget blandet flora overvejende bestående af VA-SA arter i lave til moderate forekomster. Desuden kan der være sporadiske forekomster af to-årige og flerårige arter f.eks. mælkebøtte og kruset skræppe.	Herbicer skal kun anvendes 50 % af tiden. Ingen behov for græsukrudtsmidler.

I de fem sædsnitteeksempler i tabel 8 kan herbicidforbruget yderligere nedsættes ved at supplere med ikke-kemiske tiltag som eksemplificeret i tabel 9. Disse tiltag vil sammen med sædsnitteændringerne udgøre egentlige IPM-koncepter. Hvor meget disse tiltag vil bidrage til en reduktion af herbicidforbruget i den enkelte afgrøde, er der givet bud på i tabel 9, omend disse reduktioner vil være behæftet med nogen usikkerhed på grund af interaktioner med bl.a.

ukrudtsfloraens artssammensætning, ukrudtstrykket og vejrforholdene. Effekterne af forsinket såning (f.eks. Melander, 1995) vil typisk være en mindre fremspiring af ukrudt, som ofte er forsinket i forhold til afgrøden, hvilket gør det muligt at opnå en god ukrudtseffekt med en mindre dosis og/eller et færre antal behandlinger. En mindre dosis vil typisk også være tilstrækkeligt i forbindelse med konkurrencesterke sorter (f.eks. Christensen, 1994) og gødningsplacering (f.eks. Rasmussen, 2002), fordi begge tiltag styrker afgrødens evne til at undertrykke ukrudt, der har overlevet en bekæmpelsesindsats. De største og mest sikre reduktioner opnås imidlertid med radrensning i rækkel mellemrum i vinterraps og majs, fordi et areal svarende til rækkel mellemrummene ikke sprøjtes. I vinterraps kan ukrudtsbekæmpelsen gennemføres helt ikke-kemisk, såfremt der ikke er for meget spildkorn eller aggressive ukrudtsarter i rækken (f.eks. højt voksende græsser og kamiller) (Kristensen, 1997). I majs vil det være nødvendigt at supplere med kemisk bekæmpelse i rækken, men udført som båndsprøjtning kan det sprøjtede areal begrænses betragteligt (Melander *et al.*, 2008).

TABEL 9.

FOREBYGGENDE OG KULTURTEKNISKE TILTAG TIL ANVENDELSE I IPM-KONCEPTER I DE 5 SÆDSKIFTER ANGIVET I TABEL 8. DEN PROCENTVISE REDUKTION I TILFØRT HERBICIDMÆNGDE I AFGRØDEN SOM FØLGE AF TILTAGENE ER EN VURDERING, SOM BL.A. BYGGER PÅ EFFEKTER OPNÅET I FORSØG.

Sædskifte	Supplerende tiltag til nedbringelse af herbicidforbruget	%-reduktion
1.Vinterbyg	Konkurrencesterke kornsorter (alle	10-20
Vinterraps	kornafgrøderne)	10-20
Vinterhvede	Forsinket såning af hvede (kan nedsætte udbyttet)	50-100
Vinterhvede	Radrensning i vinterraps på øget rækkeafstand	
2.Vinterbyg	Konkurrencesterke kornsorter (alle	10-20
Vinterraps	kornafgrøderne)	10-20
Vinterhvede	Forsinket såning af hvede (kan nedsætte udbyttet)	50-100
	Radrensning i vinterraps på øget rækkeafstand	10-30
Vinterhvede+efterafgrøde	Gødningsplacering til vårbyg (øger udbyttet men	
Vårbyg	kræver specialudstyr)	
3.Vinterbyg	Konkurrencesterke kornsorter (alle	10-20
Vinterraps	kornafgrøderne)	10-20
Vinterhvede	Forsinket såning af hvede (kan nedsætte udbyttet)	50-100
Vinterhvede+efterafgrøde	Radrensning i vinterraps på øget rækkeafstand	10-30
Vårbyg+efterafgrøde	Gødningsplacering til vårbyg (øger udbyttet men	
Vårbyg	kræver specialudstyr)	
4.Vinterraps	Konkurrencesterke kornsorter (alle	10-20
Vinterhvede	kornafgrøderne)	10-20
	Forsinket såning af hvede (kan nedsætte udbyttet)	50-100
Vinterhvede+efterafgrøde	Radrensning i vinterraps på øget rækkeafstand	10-30
Kernemajs	Gødningsplacering til vårbyg (øger udbyttet men	
Vårbyg	kræver specialudstyr)	50-70
	Radrensning og båndsprøjtning i kernemajs	
	(effekt afhængig af båndbredden)	
5.Vinterhvede	Konkurrencesterke sorter (alle kornafgrøderne)	10-20
Vinterhvede+efterafgrøde	Forsinket såning af hvede (kan nedsætte udbyttet)	10-20
Vårbyg+lucerneudlæg	Radrensning i vinterraps på øget rækkeafstand	50-100
Lucerne	Gødningsplacering til vårbyg (øger udbyttet men	10-30
Lucerne	kræver specialudstyr)	
Vinterraps		

Konklusioner

- Afgrødesammensætningen og -rækkefølgen i et sædskifte er styrende for det aktuelle ukrudtsproblem.
- Sædskifter domineret af enårige, forårssåede afgrøder vil trække ukrudtsfloraen i retning af stor forekomst af sommerannuelle arter med risiko for f.eks. flyve-havreproblemer.
- Modsat vil sædskifter domineret af vintersæd trække floraen i den modsatte retning og føre til en situation med enårige græsukrudtsarter og burre-snerre, som kendetegner en del svinebedrifter med stort behov for foderkorn.
- Problemer med græsukrudt og burre-snerre som følge af hyppig dyrkning af vinterafgrøder kan kun ændres mærkbart og vedvarende, hvis andelen af efterårssåede afgrøder nedbringes til 50 % eller mindre af sædskiftets afgrødesammensætning.
- Sædskiftet har større betydning for ukrudtsfloraens sammensætning end nogen anden dyrkningsfaktor som f.eks. jordbearbejdning og gødningstildeling.
- Ikke-vendende jordbearbejdning kan ganske vist accelerere et ukrudtsproblem, men kun ved hyppig dyrkning af den afgrødetype, i hvilke ukrudtsartens livscyklus er tilpasset.
- Sædskiftet er den dyrkningsfaktor eller forebyggende foranstaltning, som kraftigst kan ændre/nedbringe herbicidforbruget, da det kan modvirke opformeringen af ensidige og tabsvoldende ukrudtsproblemer med et stort bekæmpelsesbehov.

Referencer

- Andersson TN & Milberg P. (1996). Weed performance in crop rotations with and without leys and at different nitrogen levels. *Annals of Applied Biology* 128, 505-518.
- Andersson TN & Milberg P. (1998). Weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation, and nitrogen. *Weed Science* 46, 30-38.
- Andreasen C & Stryhn H. (2008). Increasing weed flora in Danish arable fields and its importance for biodiversity. *Weed Research* 48, 1-9.
- Andreasen C & Streibig JC. (2011). Evaluation of changes in weed flora in arable fields of Nordic countries – based on Danish long-term surveys. *Weed Research* 51, 214-226.
- Barberi P & Cascio BLO. (2001). Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research* 41, 325-340.
- Blackshaw RE, Andersson RL & Lemerle D. (2007). 3 Cultural Weed Management. *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, (Editors: M.K. Upadhyaya & R.E. Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK), 35-48.
- Bohan DA, Powers SJ, Champion G, Haughton AJ, Hawes C, Squires G, Cussans J & Mertens SK. (2011). Modelling rotations: can crop sequences explain arable weed seedbank abundance? *Weed Research* 51, 422-432.
- Chikowo R, Faloya V, Petit S & Munier-Jolain NM. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132, 237-242.
- Clarke J, Moss S & Orson J. (2000). The future for grass weed management in the UK. *Pesticide Outlook* – April 2000, 59-63.
- Christensen S. (1994). Crop weed competition and herbicide performance in cereal species and varieties. *Weed Research* 34, 29-36.
- Deike S, Pallutt B, Melander B, Strassemeyer J & Christen O. (2008). Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case study of two long-term field experiments in Germany and Denmark. *European Journal of Agronomy* 29, 191-199.
- Ferguson A & Evans N. (2010). Reducing pesticide inputs in winter cropping systems in the UK. *Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 3* (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Fortino G, Guichard L, Lô-Pelzer E *et al.* (2010). Redesigning cropping systems in three French regions. *Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 2* (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Graglia E, Melander B & Jensen RK. (2006). Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. *Weed Research*, 46, 304-312.

Hald AB. (1999). The impact of changing the season in which cereals are sown on the diversity of the weed flora in rotational fields in Denmark. *Journal of Applied Ecology* 36, 24-32.

Häusler A, Verschwele A & Zwerger P. (2004). Bedeutung von Stoppelbearbeitung und Fruchtfolge für die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) im ökologischen Landbau. (Control of *Cirsium arvense* by stubble cultivation and crop rotation in organic farming. With English summary). *Journal of Plant Diseases and Protection, Special Issue XIX*, 563-572.

Hülsbergen KJ, Feil B, Biermann S, Rathke GW, Kalk WD & Diepenbrock W. (2001). A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86, 303-321.

Kegode GO, Forcella F & Clay S. (1999). Influence of crop rotation, tillage, and management inputs on weed seed production. *Weed Science* 47, 175-183.

Kristensen H. (1997). Erfaringer med mekanisk ukrudtsbekæmpelse i raps. Pages 179-182 in *Proceedings 14th Danish Plant Protection Conference/Weeds*. Nyborg, Denmark.

Liebman M, Gibson LR, Sundberg DN, Heggenstaller AH, Westerman PR, Chase CA, Hartzler RG, Menalled FD, Davis AS & Dixon PM. (2008). Agronomic and Economic Performance Characteristics of Conventional and Low-External-Input Cropping Systems in the Central Corn Belt. *Agronomy Journal* 100, 600-610.

Meiss H, Médiène S, Waldhardt R, Caneill J, Bretagnolle V, Reboud X & Munier-Jolain N. (2010). Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain rotations. *Weed Research* 50, 331-340.

Meissle M, Mouron P, Musa T, Bigler F, Pons X, Vasileiadis VP, Otto S, Antichi D, Kiss J, Pálincás Z, Dorner Z, van der Weide R, Groten J, Czembor E, Adameczyk J, Thibord JB, Melander B, Cordsen Nielsen G, Poulsen RT, Zimmermann O, Verschwele A & Oldenburg E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology* 134, 357-375.

Melander B. (1993). Population dynamics of *Apera spica-venti* as influenced by cultural methods. In: *proceedings Brighton Crop Protection Conference, Weeds 1993* 1, 107-112.

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, Rasmussen IA & Barberi P. (2005). Integrating Physical and Cultural Methods of Weed Control – Examples from European Research. *Weed Science* 53, 369-381.

Melander B, Holst N, Jensen PK, Hansen EM & Olesen JE. (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, Barberi P, Monier-Jolain N, Van der Weide R, Verschwele A & Sattin M. (2008). Maize cropping with less herbicides. *Endure: From Science to Field. Integrated Weed Management Case Study – Guide Number 1* (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2) ENDURE.

Melander B, Jørgensen LN & Poulsen RT. (2010). IPM in winter crops based cropping systems. *Endure: From Science to Field. Winter Crops Based Cropping Systems (WCCS) Case Study – Guide Number 1* (http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2).

Munier-Jolain NM, Chauvel B & Gasquez J. (2002). Long-term modelling of weed control strategies: analysis of threshold-based options for weed species with contrasted competitive abilities. *Weed Research* 42, 107-122.

Oversigten over Landsforsøgene. (2010). Arealanvendelsen. Videnscentret for landbrug, side 12.

Pallutt B. (1999). Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern in Wintergetreide. (Influence of crop

rotation, tillage and herbicide use on population dynamics and competition of weeds in winter cereals. With English summary). *Gesunde Pflanzen* 51, 109-120.

Pallutt B & Grübner P. (2004). Langzeitwirkungen ausgewählter Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Verunkrautung am Beispiel des Getreides. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft XIX*, 969-979.

Patriquin DG, Hill NM, Baines D, Bishop M & Allen G. (1986). Observations on a mixed farm during the transition to biological husbandry. *Biological Agriculture and Horticulture* 3, 69-154.

Peters NCB, Froud-Williams RJ & Orson JH. (1993). The rise of barren brome *Bromus sterilis* in UK cereal crops. In: *Proceedings 1993 Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, Brighton, UK, 773-780.

Rasmussen K. (2002). Influence of liquid manure application method on weed control in spring cereals. *Weed Research* 42, 287-298.

Rasmussen K, Holst N & Kristensen IS. (1998). Ukrudt på otte økologiske kvægbrug – betydende faktorer for ukrudtets udvikling 1989-1996. 15. Danske Planteværnskonference/Ukrudt, 203-217.

Rasmussen IA, Askegaard M, Olesen JE & Kristensen K. 2006. [Effects on weeds of management in newly converted organic crop rotations in Denmark](#). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113, 184-195.

Teasdale JR, Mangum RW, Rahakrishnan J & Cavigelli MA. (2004). Weed seedbank dynamics in three organic farming crop rotations. *Agronomy Journal* 96, 1429-1435.

Wilson BJ & Wright KJ. (1991). Effects of cultivation and seed shedding on the population dynamics of *Galium aparine* in winter wheat crops. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, Vol. 2, 813-820.

Zwenger P, Hurle K & Kemmer A. (1990). Untersuchungen zum Einfluss von Fruchtfolge und Anbauintensität auf die Entwicklung des Unkrautsamengehaltes im Boden. In: *Proceedings of the European Weed Research Society Symposium*, Helsinki, Finland, 127-133.

Bilag 2: Delrapport AP2 - Prognosemodel for spirehvile i frø af ukrudtsgræsser

Peter Kryger Jensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Indledning

Efter høst af landbrugsafgrøder vil de frø der er produceret på ukrudtsplanter i afgrøden, og som efterlades i marken, være placeret på jordoverfladen, eventuelt delvist dækket af snittet halm. For ukrudtsarter, der har frø med relativt kort levedygtighed i jord, udgør disse frø i normale år en væsentlig andel af den samlede frøbanc. En korrekt stubhåndtering, der sikrer at en stor andel af frøene ødelægges inden etablering af den efterfølgende afgrøde, kan derfor have stor betydning for bestandsstørrelsen og dermed bekæmpelsesbehovet af sådanne arter. I gruppen af ukrudtsarter, der har frø med kort levedygtighed i jord, findes mange af vores hyppigste og mest tabsvoldende ukrudtsgræsser samt enkelte tokimbladede ukrudtsarter. Gold hejre og blød hejre, samt mindre hyppige hejre arter har frø med meget begrænset levedygtighed i jord og er helt afhængige af det årlige frøkast for at vedligeholde en bestand på arealet. Meget hyppige og betydningsfulde arter som vindaks og ager-rævehale samt væselhale der er i stærk fremgang og et stort problem egnsvis, har lidt mere persistente frø, men bestandsudviklingen er meget påvirket af det årlige bidrag fra frøproduktion og –kast. Undersøgelser har vist at den mest hensigtsmæssige dyrkningsteknik, når formålet er en stor ødelæggelse af årets frøkast, er en strategi der sikrer at frøene efterlades urørt på jorden længst muligt efter høst (Jensen, 2009; Jensen, 2010; Melander *et al.*, 2013). Tidlig og specielt dyb jordbearbejdning i form af stubharvning eller pløjning kort efter høst virker derimod konserverende på disse arters frø.

I en nyere undersøgelse i UK (Cook *et al.*, 2006) er det blevet undersøgt om denne generelle anbefaling af dyrkningsteknik kan forfines hvis den tilpasses det enkelte års klimatiske forhold. Baggrunden for dette er at omfanget af primær spirehvile i frø for de fleste arter er tæt korreleret til vejrforholdene, primært temperaturforløb, i den sidste del af modningsperioden. Teorien var derfor, at i år, hvor den primære spirehvile i frøene var lavere end normalt, kunne det måske være en fordel at foretage overfladisk stubbearbejdning straks efter høst for at stimulere frøene til spiring og sikre en større omsætning af nykastede frø. I den engelske undersøgelse som omfattede ager-rævehale, blev det registreret at specielt temperaturforholdene i de sidste 14 dage af modningsperioden havde en væsentlig indflydelse på graden af primær spirehvile. I forhold til normale temperaturforhold blev graden af primær spirehvile mere udbredt ved lavere temperatur, mens den aftog ved højere end normale temperaturforhold. Ved afprøvning af teorien om at stubbearbejdning kunne forøge omsætningen af frø med begrænset primær spirehvile, var udslagene usikre. Formålet med dette delprojekt var dels at undersøge hvordan typiske danske temperaturforhold influerer på graden af primær spirehvile hos ager-rævehale, vindaks og væselhale, samt om graden af primær spirehvile har betydning for hvilken stubbearbejdningsstrategi der mest effektivt reducerer mængden af frø forud for den efterfølgende afgrøde på arealet.

Materialer og metoder

I arbejds pakken blev det undersøgt om klimaforholdene i modningsperioden påvirker graden af spirehvile i frø hos tre betydningsfulde ukrudtsgræsser, ager-rævehale, vindaks og væselhale, og ud fra disse resultater blev det vurderet klimaforholdene påvirker den stubbearbejdningsstrategi der bør anbefales for at sikre forebyggelse af de 3 græsser i en IPM strategi. De 3 arter blev etableret i potter ultimo september 2010 og placeret udendørs for at opnå vernalisering af planterne. Der blev valgt frø af populationer der er indsamlet på Flakkebjerg. I juli 2011 blev planter af de 3 arter placeret ved 3 klimascenarier, et køligt, et normalt, samt et varmt, i frøenes modningsperiode. Ved det normale klima blev der anvendt en nattemperatur på 12 °C, dagtemperatur på 20 °C og et døgn gennemsnit på 16 °C. Det ligger meget tæt på klimanormalen for Danmark i juli måned. Ved det kolde og det varme klima var såvel min, max som gennemsnits temperatur sænket/hævet 5 °C i forhold til normalklimaet. Temperaturforløb blev varieret med en døgnrytme på 12 timers nat og 12 timers dag, mens der blev anvendt 16 timers lys og 8 timers mørke. Efter placering i klimakamrene i

4 uger blev der høstet frø ved forsigtigt at ryste modne frø af planterne. Frøene blev rensset så størrelsen på alle frø af en art lå indenfor den normale tusindkornsvægt og dermed sandsynligvis er levedygtige frø. Disse frø er blevet anvendt i 2 slags undersøgelser. Dels blev der foretaget test af spireevne af prøver fra de 3 arter X 3 klimascenarier umiddelbart efter høst af frøene. Denne test blev gentaget senere for at se hvordan spirehvile/spireevne påvirkes.

Det primære formål var at undersøge om stubbearbejdningsstrategien skal tilpasses klimaforholdene i modningsperioden. Til at undersøge dette blev frøprøver fra de 3 arter x 3 klimascenarier udsat for simulerede stubbearbejdningsstrategier under markforhold. Frøprøver, med kendt antal frø, blev placeret i marken straks efter høst og optælling:

1. Placeret på jordoverfladen uden halmdækning
2. Placeret på jordoverfladen med halmdækning eller
3. I 2 cm dybde

Prøver af græsserne (4 gentagelser a 100 frø) blev optalt og udlagt i 2 l pletter ved placering på jordoverfladen eller indsyet i vævsposer ved placering i 2 cm dybde. Der blev anvendt følgende metodik: Pletterne blev fyldt med så meget jord at der var plads til 2 dl steriliseret jord øverst. I potten blev der først lagt markjord som blev stampet, derefter et lag fiberdug (Lutrasil) og ovenpå dette 2 dl steriliseret overjord hvorpå frøene blev placeret, ca 1 cm under pottens kant. Pletterne blev dækket med hønset for at hindre større hønsefugle i "sandbadning". Pletterne blev placeret i marken nedgravet således at ca 1 cm af pottens kant var over jordniveau. Halvdelen af pletterne blev dækket med halm svarende til 0,5 kg/m². Der blev placeret hønset øverst for at holde på halmen. Ved placering i 2 cm dybde blev frøprøverne indblandet i 2 dl steriliseret jord som blev limet ind i vævsposer fremstillet af Lutrasil fiberdug. Poserne blev placeret i marken i den angivne dybde. Tidspunktet var begge år i begyndelsen af august måned. Medio september måned blev prøverne taget ind til spireanalyse. Tidspunktet medio september er valgt da det er det typiske tidspunkt for etablering af vintersæd. Nedbørsforholdene i den periode prøverne var placeret i marken var meget forskellige de 2 år. I 2011 blev der registreret 173 mm nedbør ved DMI, Flakkebjerg, i perioden 1/8 – 15/9 mens der i samme periode i 2013 blev registreret en nedbørsmængde på 73 mm og dermed tættere på normalen. Prøverne der blev taget ind til spireanalyse bestod af indholdet i de nedgravede poser og for pletternes vedkommende af de øverste 2 dl jord med frø, dvs. i begge tilfælde en jordmængde på 2 dl med frø. Prøverne blev lagt til spiring i spireskåle i en maksimal jordtykkelse på 1 cm og blev placeret på spirebord. På spirebord blev antal fremspirede planter fra prøverne registreret og når der ikke spirede yderligere planter frem blev prøverne udsat for udtørring/gibberellin behandling og fornyet spiretest for at provokere spiring af frø i eventuel spirehvile. Totaltallet fra de 2 spireprøver blev anvendt som udtryk for overlevende spiredygtige frø i prøven.

Behandling 1. og 2. skal simulere at der ikke foretages nogen form for stubbearbejdning og at frøene derfor efterlades direkte på jordoverfladen når de falder af moderplanten ved modenhed, eller blæses bagud af mejetærskeren i forbindelse med høst. I behandling 1. simuleres at halmen fjernes fra arealet, mens behandling 2. simulerer en behandling hvor afgrødens halm efterlades snittet på arealet. Behandling 3. simulerer at der foretages stubbearbejdning umiddelbart efter høst, som indarbejder frøene overfladisk i nogle få cm's dybde.

Resultater og diskussion

I tabel 1 er vist resultaterne af de spiretest der blev foretaget på frøprøver straks efter høst, samt 2-3 måneder senere. I den mellemliggende periode var frøprøverne opbevaret tørt og ved normal stuetemperatur i laboratoriet. I 2011 var der meget begrænset forskel på resultatet mellem de 2 tidspunkter, mens spireprocenten i 2013 blev væsentligt forøget fra 1. til 2. tidspunkt. Hos arter med primær spirehvile vil spireprocenten straks ved høst være lav, og spireprocenten stiger når frøprøver spiretestes med stigende afstand til høsttidspunktet som det var tilfælde i 2013. Det

fremgår af tabel 1 at der ikke umiddelbart er nogen klar effekt af klimascenarierne på de registrerede spireprocenter.

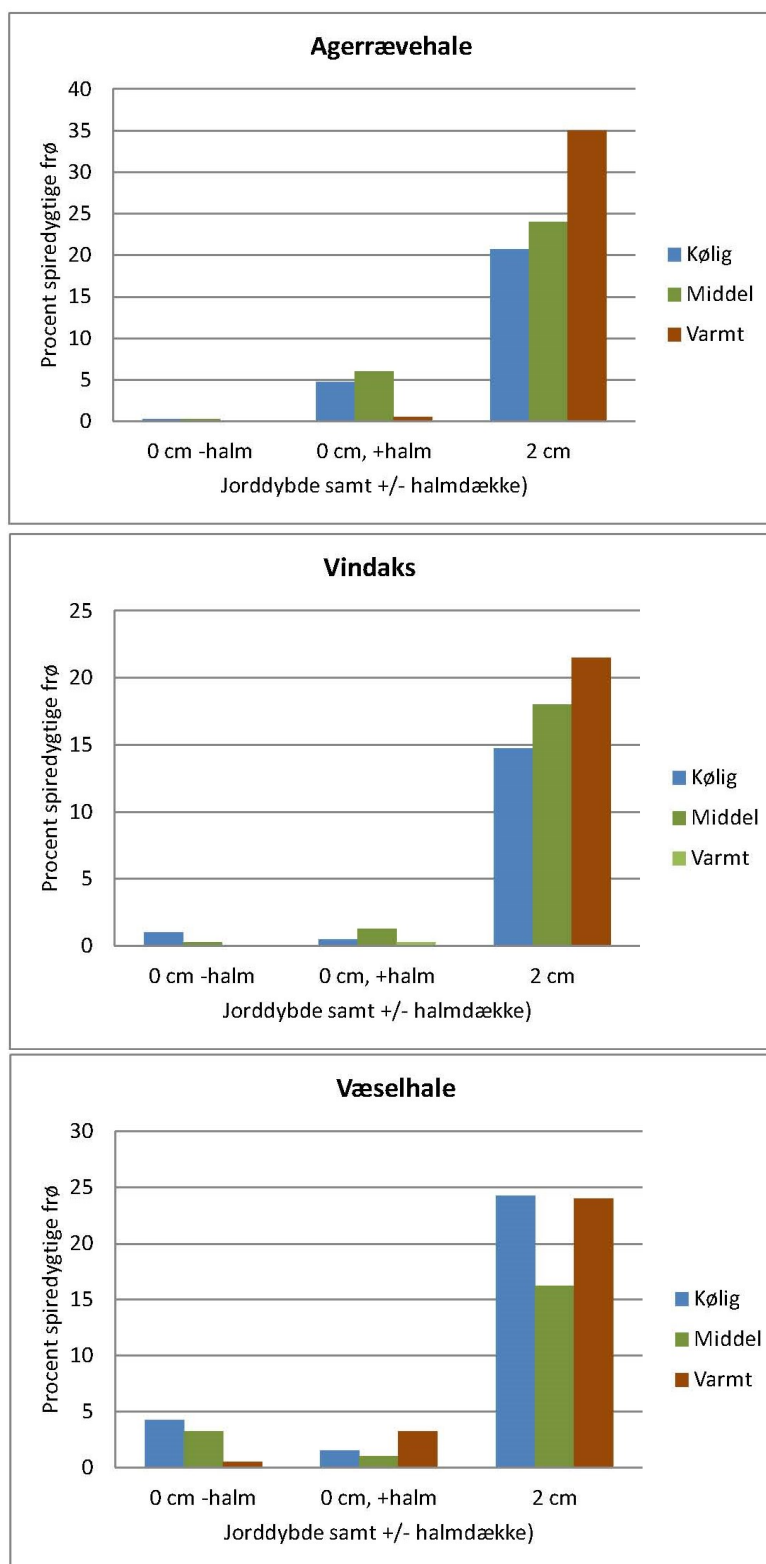
TABEL 1.

SPIREPROCENT AF FRØ FRA AGER-RÆVEHALE, VINDAKS OG VÆSELHALE MODNET VED 3 KLIMASCENARIER.

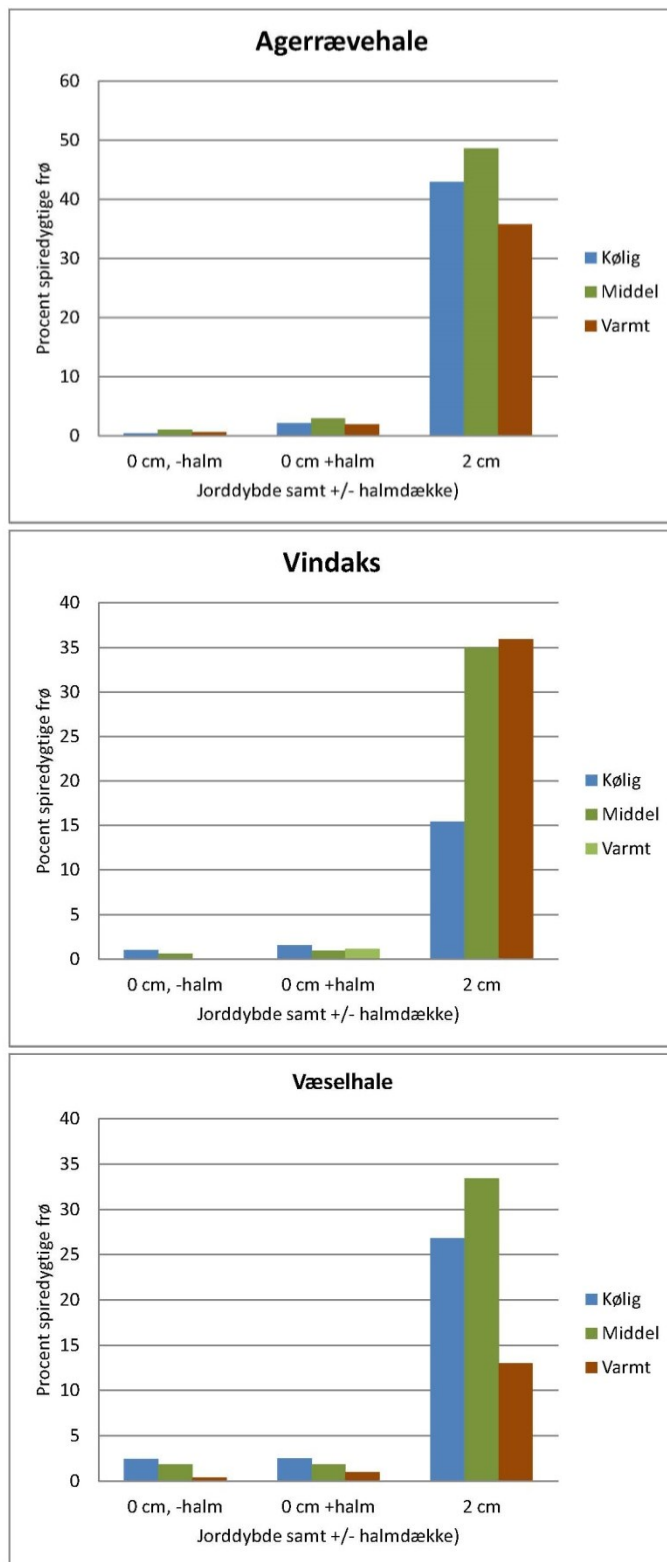
Art	Klimascenarie	2011		2013	
		Spireprocent ved høst	Spireprocent 2-3 mdr. efter høst	Spireprocent ved høst	Spireprocent 2 mdr. efter høst
Ager-rævehale	Kølig	7	1	4	55
Ager-rævehale	Normal	14	7	1	49
Ager-rævehale	Varm	10	13	0	30
Vindaks	Kølig	10	7	31	49
Vindaks	Normal	2	3	6	27
Vindaks	Varm	2	3	1	15
Væselhale	Kølig	48	44	1	55
Væselhale	Normal	33	22	0	64
Væselhale	Varm	70	49	13	59

Fremspiring af planter fra de frøprøver der blev udsat for simulerede strategier for stubbearbejdning straks ved høst/modenhed af frøprøverne og efterfølgende spiretestet medio september på det tidspunkt hvor der normalt etableres vintersæd giver et udtryk for, hvordan de pågældende strategier har påvirket antallet af spiredygtige frø i den mellemliggende periode. Såfremt der etableres vintersæd med pløjefri metoder, vil resultatet fra spiretesten indikere hvor stor fremspiring, der kan forventes i vintersædsafgrøden. På arealer, der dyrkes konventionelt med pløjning, vil de resterende levedygtige frø blive placeret i pløjedybde, og forskelle som følge af de forskellige behandlinger ville først kunne registreres i en senere afgrøde på arealet.

Resultatet fra spiretesten for de 3 arter er vist i figur 1 (2011 forsøg) og figur 2 (2013 forsøg). Resultaterne for de 2 forsøgsår er vist separat da variansanalysen viste flere signifikante effekter af variabelen år, enten som hovedeffekt eller som vekselvirkning til klima eller jordbearbejdningsstrategi. Variansanalysen af resultaterne for de 3 arter er vist i tabel 2. Som det fremgår af figurene har de 3 arters frø i begge forsøgsår reageret næsten ens på behandlingerne, og relativt upåvirket af klimaforholdene i modningsperioden. Med de valgte scenarier forventes det at temperaturforhold i modningsperioden har begrænset indflydelse på omfanget af primær spirehvile i frøene hos de 3 ukrudtsgræsser under danske forhold. Endvidere viser resultaterne at dette ikke har betydning for den mest hensigtsmæssige stubbearbejdning.



FIGUR 1. SPIREPROCENT AF AGER-RÆVEHALE, VINDAKS OG VÆSELHALE FRA FRØPRØVER, DER HAR VÆRET UDSAT FOR 3 SIMULEREDE STUBBEARBEJDNINGSSTRATEGIER I PERIODEN FRA MODENHED TIL MEDIO SEPTEMBER HVOR SPIRETESTEN ER FORETAGET. FRØENES MODNINGSPERIODE FORLØB VED 3 KLIMASCENARIER. FORSØG I 2011.



FIGUR 2. SPIREPROCENT AF AGER-RÆVEHALE, VINDAKS OG VÆSELHALE FRA FRØPRØVER, DER HAR VÆRET UDSAT FOR 3 SIMULEREDE STUBBEARBEJDNINGSSTRATEGIER I PERIODEN FRA MODENHED TIL MEDIO SEPTEMBER HVOR SPIRETESTEN ER FORETAGET. FRØENES MODNINGSPERIODE FORLØB VED 3 KLIMASCENARIER. FORSØG I 2013.

TABEL 2.
 VARIANSANALYSE AF EFFEKTEN AF KLIMA, JORDBEARBEJDNING OG ÅR SAMT VEKSELVIRKNINGER AF DISSE PÅ
 SPIREDEYGTIGHED AF FRØ. TABELLEN VISER SIGNIFIKANSNIVEAU FOR FAKTOREN.

Faktor	Ager-rævehale	Vindaks	Væselhale
Klima	Ns	***	*
Jordbearbejdning	***	***	***
År	***	***	Ns
Klima * År	*	**	***
Jordbearbejdning * År	***	***	Ns
Klima * Jordbearbejdning	Ns	***	Ns
Klima * Jordbearbejdning * År	***	***	***
Gentagelse	Ns	Ns	Ns

I frøprøver der har ligget urørt på jordoverfladen i perioden fra begyndelsen af august til midt i september var der kun få spiredygtige frø tilbage ved den efterfølgende spiretest, og resultatet var kun i begrænset omfang påvirket af, om der var efterladt snittet halm på prøverne eller ej. Frøprøver, der havde ligget i ca. 2 cm's dybde, havde generelt et langt større indhold af spiredygtige frø ved den efterfølgende spiretest.

Forsøgene har således ikke kunnet bekræfte at stubbearbejdningsstrategien bør tilpasses klimaforholdene i modningsperioden for disse 3 græsser, når målet er at reducere mængden af levedygtige frø mest muligt før etablering af efterfølgende afgrøde på arealet. Den mest hensigtsmæssige strategi for alle 3 græsser var i begge år og ved alle klimascenarier at efterlade frøene urørt på jordoverfladen i perioden frem til midten af september, der er det typiske etableringstidspunkt for vintersæd. Dette er i overensstemmelse med den konklusion der blev opnået i de foregående refererede undersøgelser, hvor der blev anvendt frøprøver af græsserne, høstet på planter der voksede under markforhold med de temperaturforhold der forekom de pågældende forsøgsår.

Referencer

- Cook SK, Swain AJ, Clarke J, Moss S, Hughes Z, Orson J, Powell L, Creasey A, Norman K, Alford J. (2006). Improving crop profitability by using minimum cultivation and exploiting grass weed ecology Project report no. 381, Home Grown Cereals Authority.
- Jensen PK. (2009). Longevity of seeds of four annual grasses and two dicotyledon weed species as related to placement in the soil and straw disposal technique. *Weed Research* 49, 592-601.
- Jensen PK. (2010). Longevity of seeds of *Poa trivialis* and *Vulpia myuros* as affected by simulated soil tillage practices and straw disposal technique. *Grass and Forage Science* 65, 76-84.
- Melander B, Munier-Jolain N, Raphael C, Wirth J, Schwartz 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.

Bilag 3: Delrapport AP3 - Betydning af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling

Solvejg K. Mathiassen, Bo Melander & Per Kudsk, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Sammendrag

Potentialet for at anvende såtidspunkt, udsædsmængde og såteknik til ukrudtsregulering i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi i vinterhvede blev undersøgt i markforsøg over to år (2010-11 og 2011-12). I begge forsøgsår havde afgrødedensiteten signifikant effekt på biomassen af græsukrudt (ager-rævehale og vindaks), som blev mere end halveret ved at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m⁻². En udsættelse af såtidspunktet fra sidste halvdel af september til midten af oktober medførte en reduktion af ukrudtsbiomassen på henholdsvis 70 % i 2011 og 40 % i 2012. Sen såning reducerede udbyttet med 10 % i 2011, men påvirkede ikke udbyttet i de ukrudtsfrie parceller i 2012, mens der i parceller med ukrudt blev opnået 20 % merudbytte for sen såning uanset afgrødetætheden. Der blev ikke fundet signifikant effekt på ukrudtsbestanden eller udbyttet af den mere ensartede fordeling af afgrødeplanterne, som blev opnået ved anvendelse af Horsch system frem for radsåning. Tilsvarende blev der i konkurrenceforsøg under kontrollerede forhold mellem vinterhvede og henholdsvis storkronet ærenpris og vindaks ikke fundet signifikant effekt af forskellige afgrødefordelinger, mens en øget afgrødetæthed fra 400 til 800 planter m⁻² medførte 30-35% reduktion af biomassen af ærenpris og vindaks. Den konkurrencedygtige sort Skagen havde 20 % større effekt på biomassen af ukrudt sammenlignet med den konkurrencesvage sort Sleipner. Resultaterne viser, at det i marker med stor ukrudtsmængde er muligt at opnå mere end 80 % reduktion af biomassen af ukrudt ved optimale kombinationer af sen såning, konkurrencedygtige sorter og stor udsædsmængde. Derimod havde afgrødens rumlige fordeling ikke signifikant betydning for konkurrencen mellem vinterhvede og de aktuelle ukrudtsarter. Sortsvalg vurderes at være en anvendelig parameter i en integreret ukrudtsbekæmpelse i det omfang, at der er sorter til rådighed, i hvilke et højt udbyttepotentiale er kombineret med en stor konkurrenceevne. Sen såning og øget afgrødetæthed er mere tvivlsomme værktøjer, idet begge metoder kræver øget udsædsmængde, og omkostningerne til udsæd samt eventuel øget behov for vækstregulering og svampebekæmpelse medfører, at metoderne ikke er økonomisk optimale. Øget udsædsmængde og sen såning vurderes primært at være relevant på lokaliteter med stort ukrudtstryk, samt hvor der er problemer med resistente græsukrudtsarter.

Indledning

Tidligere undersøgelser har vist, at såtidspunkt og udsædsmængde påvirker ukrudts fremspiring og kornafgrøders konkurrenceevne overfor ukrudtet (Mohler, 2001; Olsen *et al.*, 1997; Melander, 1995; Christensen & Rasmussen, 1994; Lemerle *et al.*, 2004; Hashem *et al.*, 1998). Nyere forsøg har vist, at også afgrødens rumlige fordeling påvirker ukrudtets vækst (Kristensen *et al.*, 2008; Olsen *et al.*, 2005; Medd *et al.*, 1985; Boyd *et al.*, 2009). Afgrødestruktur påvirker således ukrudtstrykket i marken, og faktorer som såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling kan derfor inddrages som led i en integreret ukrudtsbekæmpelse med et overordnet mål om at skabe de bedst mulige konkurrencebetingelser for afgrøden. Der er imidlertid behov for at kvantificere effekten af disse tiltag anvendt hver for sig og ikke mindst i kombination med henblik på at perspektivere, i hvor stor udstrækning disse faktorer kan bidrage til den samlede ukrudtseffekt i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi.

Arbejdshypotesen i AP 3 er, at ukrudtets vækst i vinterhvede kan hæmmes af faktorerne sen såning, øget udsædsmængde, bedre rumlig fordeling af afgrødeplanterne og ved valg af konkurrencedygtige sorter enten alene eller i kombination, hvorved behovet for direkte bekæmpelse kan reduceres. Arbejdspakken omfatter forsøg, som belyser effekten af sortsvalg, såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling på vinterhvedes konkurrenceevne overfor ukrudt, dels i standardiserede konkurrenceforsøg under kontrollerede forhold (semifieldforsøg), dels i markforsøg. Markforsøgene er udført over to år (2010-11 og 2011-12) og omfatter betydning af

såtidspunkt, udsædsmængde og såteknik for vinterhvedes konkurrenceevne. Semifieldforsøgene er ligeledes udført over to år og belyser betydning af sort, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling på vækst af to ukrudtsarter: vindaks (*Apera spica-venti*) og storkronet ærenpris (*Veronica persica*). Semifieldforsøgene er udført under kontrollerede forhold, hvor vand og næringsstoffer ikke har været begrænsende for væksten.

State of the art

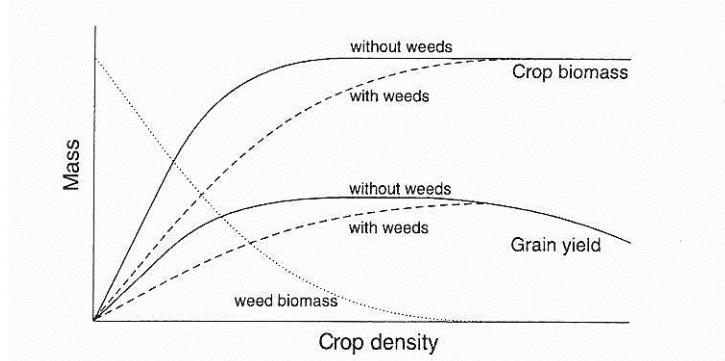
Kornafgrøder er forholdsvis konkurrencedygtige overfor ukrudt sammenlignet med andre afgrøder. På trods af en god konkurrenceevne hos korn kan ukrudt reducere udbyttet med 80 % eller mere (Lemerle *et al.*, 1995) ved direkte konkurrence samt give høstbesvær og reduceret kornkvalitet. Ukrudt konkurrerer med afgrøden om lys, vand og næringsstoffer, og konkurrencestærke ukrudtsarter eller en stor ukrudtsbestand påvirker kornets udbyttepotentiale ved at reducere antallet af aks per plante, antallet af kerner per aks, antal kerner per m², 1000-kornsvægt og i yderste konsekvens antallet af afgrødeplanter per m². Betydning af ukrudt for afgrødens udbytte vil afhænge af ukrudtsmængde, ukrudtsarter, fremspiringstidspunkt, klima og tilgængelige næringsstoffer og vand.

Flere faktorer kan påvirke kornets konkurrenceevne over for ukrudt herunder valg af art, sort, såtidspunkt, afgrødetæthed, gødningsniveau og den rumlige fordeling af afgrøden. Blandt kornafgrøderne er rug den mest konkurrencestærke art efterfulgt af vinterbyg og vinterhvede (Blackshaw, 2007). En række studier i byg og vinterhvede har vist, at de faktorer, som har størst betydning for en sorts konkurrenceevne, er tidlighed, højdetilvækst og bladareal (Christensen, 1995; Olesen *et al.*, 2004; Lemerle *et al.*, 1996). Disse egenskaber registreres i observationsparceller i forbindelse med sortsafprøvning og ud fra disse karakterer estimeres et konkurrenceindeks for den enkelte sort (Hansen & Christensen, 2000). Konkurrenceindeks angives som en dyrkningsegenskab i danske sortslister (www.sortsinfo.dk). Et konkurrenceindeks på 0,8 betyder, at den aktuelle sort har 20 % større effekt overfor ukrudt end en sort med konkurrenceindeks 1,0.

Tidlig såning vil normalt øge kornets buskning og dermed konkurrenceevnen over for ukrudt. En række forsøg har dog vist, at sen såning af vinterhvede reducerer mængden af både græsukrudt (Amann *et al.*, 1992; Melander, 1995) og tokimbladet ukrudt (Christensen *et al.*, 1996; Olsen & Weiner, 2007). De fleste ukrudtsarter har højere temperaturkrav til spiring end vinterhvede, og effekten af sen såning kan tilskrives en større forskel i fremspirings hastigheden af afgrøde og ukrudt end ved tidlig såning (Bewley & Black, 1983). Melander (1995) fandt, at en udsættelse af såning af rug med 2 uger øgede tidsrummet fra begyndende til afsluttende fremspiring af vindaks og reducerede frøproduktionen med 30 %. Kombineres en udsættelse af såtidspunktet med jordbearbejdning forud for såning (falsk såbed), således at tidligt fremspirede ukrudtsplanter ødelægges, kan der opnås yderligere effekt på ukrudtsbestanden, men effekten er meget afhængig af klimaforholdene herunder specielt jordfugtighed (Melander, 1998). Undersøgelser i UK har vist, at der kan opnås 30 % effekt på ukrudtet ved sen såning (Lutman & Moss, 2009). Den udbyttmæssige effekt af sen såning afhænger af klimafaktorer i efteråret og i det tidlige forår. Christensen *et al.* (1996) fandt i nogle år udbyttereduktioner på op til 30 %, når såningen blev udskudt 2-4 uger, mens andre forsøg viser, at udbyttet kan opretholdes under forudsætning af, at der anvendes en øget udsædsmængde ved sen såning. På grund af den øgede omkostning til udsæd vil nettoudbyttet under ukrudtsfrie forhold dog falde.

Udsædsmængden påvirker kornets konkurrenceevne overfor ukrudtet og dermed behovet for ukrudtsbekæmpelse (Christensen *et al.*, 1996; Olsen *et al.*, 1997; Lemerle *et al.*, 1996; Kolb *et al.*, 2012). Kristensen *et al.* (2008) fandt, at ukrudtsbiomassen (fuglegræs, agersennep og rajgræs) i vårhvede blev halveret ved at øge udsædsmængden fra 200 til 720 kerner m⁻². Forsøg i Australien viste en halvering af biomassen af rajgræs ved at øge afgrødetætheden i vinterhvede fra 100 til 200 planter m⁻² (Lemerle *et al.*, 2004). Udbyttmæssigt var 200 vinterhvedeplanter m⁻² optimalt, og der

var et udbyttetab på 4-5% ved at øge afgrødetætheden til 425 planter m^{-2} . I England anslås det, at man kan opnå 30 % effekt på ager-rævehale ved at øge udsædsmængden (Lutman & Moss, 2009). Mekanismen omkring øget udbytte og reduceret ukrudtsbiomasse relaterer til loven om konstant slutudbytte, hvor afgrødeudbytte og ukrudtsbiomasse er en funktion af afgrødetæthed (Weiner *et al.*, 2001) (figur 1). Ved lav afgrødetæthed udgør ukrudtet størstedelen af den totale biomasse på et areal, og udbyttet er begrænset af både afgrødetæthed og konkurrence. Når afgrødetætheden øges, vil ukrudtets biomasse reduceres, da afgrøden er i stand til at undertrykke ukrudtets vækst. Kornudbyttet når et plateau og kan eventuelt reduceres med øget afgrødetæthed på grund af intraspecific konkurrence om ressourcerne (Weiner *et al.*, 2001). Den optimale afgrødetæthed afhænger af såtidspunkt, sort, ukrudtstæthed, lokation og år. I Danmark er anbefalingen i vinterhvede et plantetal på 225 planter m^{-2} ved såning i første halvdel af september, 325 planter m^{-2} i sidste halvdel af september og 400 planter m^{-2} ved såning i oktober (www.landbrugsinfo).



FIGUR 1. SKEMATISK ILLUSTRATION AF SAMMENHÆNG MELLEM AFGRØDETÆTHED OG BIOMASSE AF UKRUDT OG AFGRØDE SAMT UDBYTTE MED OG UDEN STOR UKRUDTSMÆNGDE. EFTER WEINER *ET AL.*, 2001.

I Danmark sås korn normalt i rækker med en afstand på 12 cm. Teoretisk set vil en mere jævn fordeling af afgrøden øge konkurrenceevnen i form af en reduceret konkurrence mellem kornplanterne (intraspecific) resulterende i større kornplanter med større konkurrenceevne over for ukrudtet (interspecific) på grund af en tidligere lukning mellem rækkerne (Weiner *et al.*, 2001). I Danmark er der i flere studier fundet op til 30 % reduktion af biomassen i tætte ukrudtsbestande ved at udså vårhvede i et 'grid' mønster frem for i rækker (Kristensen *et al.*, 2008; Weiner *et al.*, 2001). I andre forsøg har udsædsmønstret ikke påvirket ukrudtsbiomassen (Olsen *et al.*, 2012; Medd *et al.*, 2009; Boyd *et al.*, 2009; Kolb *et al.*, 2012). Effekten af såmønster på ukrudtsbiomassen afhænger af, hvilke ukrudtsarter der er tilstede, og forudsætningen for en ukrudtsregulerende effekt antages at være, at afgrøden har en størrelsesmæssig fortrin i forhold til ukrudtet (Kristensen *et al.*, 2008), og at abiotisk stress og mangel på vand og næring ikke begrænser væksten (Olsen *et al.*, 2012). Der kan således ikke forventes effekt af afgrødefordeling på flerårige arter eller ukrudtsarter, som er i stand til at vokse sig højere end afgrøden (for eksempel agersennep). I nogle enkelte forsøg er der dog opnået 60 % effekt på raps ved at kombinere høj udsædsmængde af vårhvede (600 planter m^{-2}) med et gridmønster sammenlignet med normal udsædsmængde (400 kerner m^{-2}) udsået i rækker (Weiner *et al.*, 2001). I modsætning hertil fandt man i Australien og USA ingen effekt på ukrudt af en bedre afgrødefordeling, muligvis fordi ukrudtsmængden i forsøgene var lille (Medd *et al.*, 1984; Boyd *et al.*, 2009).

Materialer og metoder

Markforsøg

Betydningen af faktorerne såteknik, såtidspunkt og udsædsmængde er undersøgt for interaktioner mellem vinterhvede og græsukrudt i markforsøg ved Flakkebjerg. Forsøg blev udført i perioden 2010/2011 og gentaget i 2011/2012. Hvert forsøg blev anlagt som et fuldstændigt randomiseret blokforsøg med 4 gentagelser og en parcelstørrelse på 25 m^2 . Såteknikken omfattede to niveauer:

etablering på rækker med en almindelig radsåmaskine og en mere diffus rækkestruktur, som blev opnået ved at anvende det såkaldte Horsch system, som sår afgrøden i en bred vifte frem for i en række. Med den almindelige radsåmaskine blev jordbehandling udført med en rotorharve umiddelbart før såning, mens parcellerne med Horsch systemet blev stubharvet 3 gange forud for første såning. Såning blev udført d. 23. september og 14. oktober i 2011 samt 27. september og 14. oktober i 2012. Udsædsmængden omfattede 3 niveauer med tilstræbte plantetal på henholdsvis 200, 400 og 800 planter m⁻². Eksempler på de opnåede afgrødestrukturer er vist i billede 1A og 1B. For at sikre en tilstrækkelig respons fra græsukrudt blev der umiddelbart efter såning af vinterhveden udsået 200 g ha⁻¹ vindaksfrø i den ene halvdel af parcellerne, mens den anden halvdel blev friholdt for græsukrudt med henblik på at kunne fastlægge afgrødens respons på forsøgsfaktorerne uden indflydelse fra græsukrudtet.



BILLEDE 1A.

VINTERHVEDE (CV. SKAGEN) SÅET MED 12 CM'S RÆKKEAFSTAND MED ALM. SÅMASKINE. ØVERST 200 PLANTER/M², I MIDTEN 400 PLANTER/M² OG NEDERST 800 PLANTER/M². MARKFORSØG 2010-2011.



BILLEDE 1B.

VINTERHVEDE (CV. SKAGEN) SÅET MED HORSCH SYSTEM. ØVESRT 200 PLANTER/M², I MIDTEN 400 PLANTER/M² OG NEDERST 800 PLANTER/M². MARKFORSØG 2010-2011.

Antallet af fremspirede hvedeplanter blev optalt i oktober og november. I 2011 fik forsøget tilført 350 kg ha⁻¹ 26-2-7 N-S-Mg i slutningen af marts og 350 kg ha⁻¹ af samme gødningstype igen i slutningen af april. I 2012 blev samme gødningstype og udbringningstidspunkter anvendt, men denne gang i mængderne 300 kg første gang og 340 kg anden gang. I perioden april-juni blev der udført i alt 7 telemålinger i alle parceller. I begyndelsen af maj blev forsøget sprøjtet med 1 tablet ha⁻¹ Express ST (500 g kg⁻¹ tribenuron) + 0.2 L ha⁻¹ Oxitril (200 g L⁻¹ ioxynil + 200 g L⁻¹ bromoxynil) for at bekæmpe tokimbladet ukrudt. I 2012 blev der observeret en meget stor bestand af ager-rævehale (*Alopecurus myosuroides*) på forsøgsarealet, hvilket var lidt overraskende, da der kun var fundet enkelte ager-rævehaleplanter på dette areal forudgående år. I den del af forsøget, hvor der ikke var udsået vindaks, blev ager-rævehalen bekæmpet med 1 L ha⁻¹ Primera Super (69 g L⁻¹ fenoxaprop-P) + 0,4 L ha⁻¹ Agripol d. 27. april 2012. Gennem begge vækstsæsoner er der indsamlet data for forekomsten af både ager-rævehale og vindaks. Der er målt tørstof af hvede og ager-rævehale i juni 2011 og ager-rævehale + vindaks i juni 2012, og antallet af frøbærende vindakstoppe

er talt i juli i begge år. Afgrøden blev høstet medio-ultimo august. Kerneudbyttet og 1000-kornsvægten blev bestemt.

Semifieldforsøg

Betydning af sortsvalg, såteknik, udsædsmængde og ukrudtstæthed for konkurrenceforhold mellem vinterhvede og forskellige ukrudtsarter (vindaks (*Apera spica-venti*) og storkronet ærenpris (*Veronica persica*) blev undersøgt i semifieldforsøg under kontrollerede forhold. Der er udført to forsøg i 2011 (et forsøg med vindaks og et forsøg med ærenpris) og tre forsøg i 2012 (to forsøg med vindaks og et forsøg med ærenpris). Forsøgene er udført i polystyrenkasser (40 cm x 40 cm x 15 cm) med binære blandinger af vinterhvede og ukrudt (billede 2A).



BILLEDE 2A.

AFGRØDEETABLERING I SAMME MØNSTRE SOM OPNÅET MED ALM. SÅMASKINE I MARKEN. ØVERST 200 PLANTER/M², I MIDTEN 400 PLANTER/M² OG NEDERST 800 PLANTER/M². I VENSTRE SØJLE MED 100 PLANTER/M² AF ÆRENPRIS OG I HØJRE SØJLE MED 300 PLANTER/M² AF ÆRENPRIS.

Ud fra fotos fra markforsøget er to forskellige afgrødemønstre for hver udsædsmængde (200, 400 og 800 planter m^{-2}) med Horsch systemet udvalgt og etableret i kasserne (billede 2B). Den tredje afgrødestruktur i kasserne består af rækkesåning på 12 cm's afstand – også her med plantetal på 200, 400 og 800 planter m^{-2} . Hver af de 9 kombinationer af afgrødestrukturer (3 afgrødefordelinger x 3 udsædsmængder) er kombineret med to tætheder af ukrudtsarterne (100 og 300 planter m^{-2}), idet ukrudtsplanterne er fordelt i kasserne efter et fastlagt mønster.



BILLEDE 2B.

AFGRØDEETABLERING I SAMME MØNSTRE SOM OPNÅET MED HORSCH SYSTEMET I MARKEN. ØVERST 200 PLANTER/ M^2 , I MIDTEN 400 PLANTER/ M^2 OG NEDERST 800 PLANTER/ M^2 . I VENSTRE SØJLE MED 100 PLANTER/ M^2 AF ÆRENPRIS OG I HØJRE SØJLE MED 300 PLANTER/ M^2 AF ÆRENPRIS.

I begge forsøg indgik to forskellige vinterhvedesorter. Skagen er en konkurrencestærk sort med et konkurrenceindeks på 0,74 (www.sortsinfo.dk), mens Slepner er en ældre sort, som er

karakteriseret ved at være meget kortstrået. Der er ikke angivet et konkurrenceindeks for Sleipner, da den var på sortliste førend denne dyrkningsegenskab blev angivet. Ud fra strållængden anslås konkurrenceindekset til at ligge på ca. 1,25.

Ved etablering af kasserne blev vinterhvede sået direkte i kasserne ved at anvende en skabelon for udsåning af kernerne, mens vindaks og ærenpris blev sået i spirebakker i væksthuse. Efter fremspiring blev ukrudtsarterne udpriklet i kasserne med vinterhvede efter et fast mønster med henholdsvis 100 og 300 planter m^{-2} . Kasserne var placeret på udendørs borde og blev vandet fra bunden. Forsøgene blev udført med tre gentagelser per behandling. Der blev anvendt et blokdesign med sorter og afgrødetætheder som blokke og en fuldstændig randomisering indenfor blokkene. Ukrudtsplanterne blev høstet tre måneder efter såning. I hver kasse blev de yderste 5 cm af kasserne betragtet som værn, og blev ikke høstet. Ved høst blev antallet af ukrudtsplanter per kasse samt friskvægt af ukrudtsplanterne målt. Ukrudtsbiomassen blev tørret i en ovn ved 80°C i 18 timer og tørvægt blev registreret.

Resultater

Markforsøg

I tabel 3.1 er de gennemsnitlige opnåede afgrødetætheder (antal hvedeplanter m^{-2}) med spredning angivet for begge forsøg. Specielt i 2010/2011-forsøget var der en del problemer med at opnå samme tætheder med Horsch såmaskinen sammenlignet med den almindelige radsåmaskine. Især var det ikke muligt at opnå de højeste afgrødetætheder. En henvendelse til firmaet bag Horsch systemet klarlagde, at det ikke er muligt at udså den store udsædsmængde uden en væsentlig ombygning af maskinen. Ved såning i efteråret 2011 blev parceller med den højeste afgrødetæthed derfor etableret ved at så to gange med Horsch systemet i samme parcel, hvorved der blev opnået tilnærmelsesvis samme antal hvedeplanter ved højeste densitet med begge såmetoder. Optællingen af fremspirede planter i efteråret 2011 viste en gennemsnitlig afgrødetæthed efter såning med Horsch systemet på 412 planter m^{-2} , mens der ved såning med radsåmaskinen i gennemsnit blev opnået 441 planter m^{-2} . Sen såning førte i de fleste tilfælde til et lidt lavere antal fremspirede planter end tidlig såning, hvilket var mest udtalt for den laveste udsædsmængde.

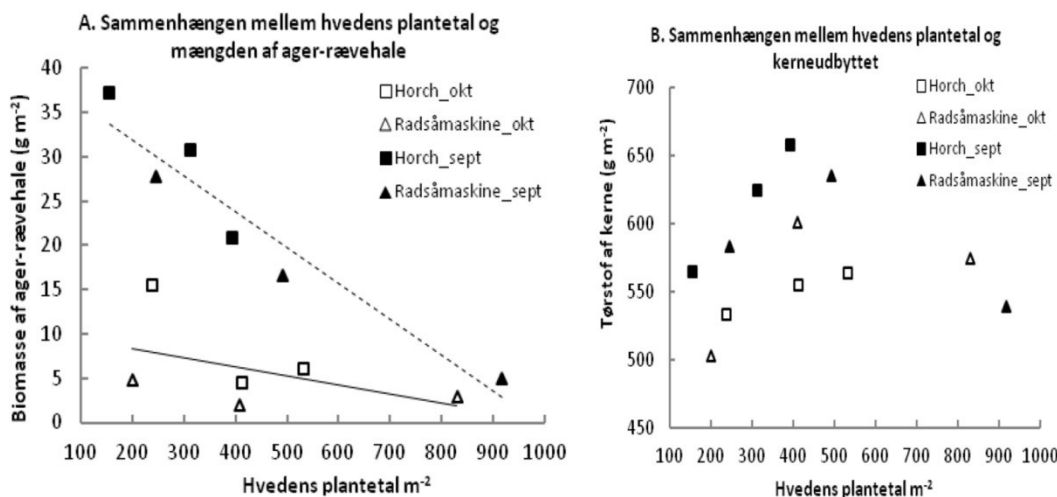
Forekomsten af græsukrudt var forholdsvis beskedent i 2010/2011. Ager-rævehale optrådte dog i mængder, hvor biomassen høstet i juni responderede signifikant på forsøgsfaktorerne. Figur 2A viser sammenhængen mellem afgrødetætheden og biomassen af ager-rævehale for hver såteknik og såtidspunkt. Såteknik havde ingen effekt på ager-rævehale, mens det sene såtidspunkt i gennemsnit førte til ca. 70 % reduktion i biomassen af ager-rævehale, hvilket skyldtes en senere fremspiring og en forsinket vækst i forhold til hveden. Stigende tæthed af hveden reducerede generelt biomassen af ager-rævehale, hvor effekten var mest udtalt ved tidlig såning; eksempelvis medførte en stigning fra 400 planter m^{-2} til 800 planter m^{-2} , at biomassen af ager-rævehale blev reduceret med 68%. Antallet af fremspirede vindaksplanter var lavt, og de spirede sent frem, hvilket resulterede i at frøbærende toppe først var synlige sent i vækstsæsonen. På grund af den meget begrænsede vindaksmængde blev toppene optalt i hele parcellen. Såteknik og såtidspunkt havde kun svage effekter på antallet af toppe, mens stigende tæthed af hvede medførte mere end 50 % reduktion af antallet af toppe uanset såtidspunkt. Når såtidspunktet ikke havde samme effekt på vindaks som på ager-rævehale skyldes det, at udsåede frø ikke responderede på samme måde som naturlige frø i frøbanken. Faktisk var der en tendens til lidt højere vindaksbestand ved det sene såtidspunkt.

TABEL 1.
AFGRØDEETABLERING VED FORSKELLIGE SÅMETODER OG TIDSPUNKTER I MARKFORSØGENE UDFØRT I PERIODERNE 2010/2011 OG 2011/2012. PLANTERNE ER OPTALT I EFTERÅRET 2010 OG 2011, OG TALLENE ANGIVER DE GENNEMSITLIGE PLANTETAL M⁻² MED SPREDNINGERNE ANFØRT I PARENTES.

Såteknik	Forventet plantetal	2010-11		2011-12	
		Såning september	Såning Oktober	Såning september	Såning oktober
Alm. såmaskine	200	245 (32)	199 (12)	341 (64)	230 (14)
	400	493 (44)	409 (31)	487 (36)	377 (22)
	800	918 (132)	830 (69)	703 (63)	601 (42)
Horsch	200	154 (18)	238 (13)	316 (14)	169 (16)
	400	312 (30)	412 (41)	433 (45)	353 (37)
	800	393 (70)	532 (56)	683 (115)	640 (39)

Eksempler på de opnåede afgrødefordelinger er vist i billede 1.

Sammenhængen mellem tæthed af hvede og kerneudbyttet i parcellerne med græsukrudtsforekomst er vist i figur 2B for hver såteknik og såtidspunkt i 2010/2011 forsøget. Analysen viste en signifikant 3-vejsvekselvirkning mellem såteknik, såtidspunkt og plantetal. De uens plantetal, som især Horsch systemet skabte, sammenblandet med effekterne fra græsukrudtet – om end de var relativt små – var med til at skabe denne vekselvirkning. Udbyttetallene, både fra parcellerne med forekomst af græsukrudt og fra ukrudtsfrie parceller, viste en klar tendens til et udbytteoptimum ved en afgrødetæthed på ca. 400 planter m⁻². Det passer godt med den almindelige anbefaling for plantetal i vinterhvede, når ukrudtsforekomsten ikke har væsentlig indflydelse på udbyttet som i dette tilfælde. Såning i september medførte generelt et højere udbyttet (svarende til ca. 10 %) end senere såning undtagen ved den højeste afgrødetæthed opnået med radsåmaskinen. I parceller uden græsukrudt blev kernekvaliteten udtrykt som 1000-kornsvægten ikke påvirket væsentligt af forsøgsfaktorerne.



FIGUR 2.
SAMMENHÆNGENE MELLEM AFGRØDETÆTHED OPTALT I EFTERÅRET 2010, SÅTEKNIK, SÅTIDSPUNKT OG EFFEKTER PÅ TØRSTOFMÆNGDEN AF AGER-RÆVEHALE (A) OG KERNEUDBYTTE I HVEDE (B) I 2011. PUNKTERNE ER OBSERVEREDE VÆRDIER VIST SOM GENNEMSIT AF 4 GENTAGELSER. KURVERNE I FIGUR A ER LINEÆR REGRESSION PÅ DATA, OG VISER MINDSTE MODEL, HVOR IKKE SIGNIFIKANTE EFFEKTER AF SÅTEKNIK ER UDELUKKET.

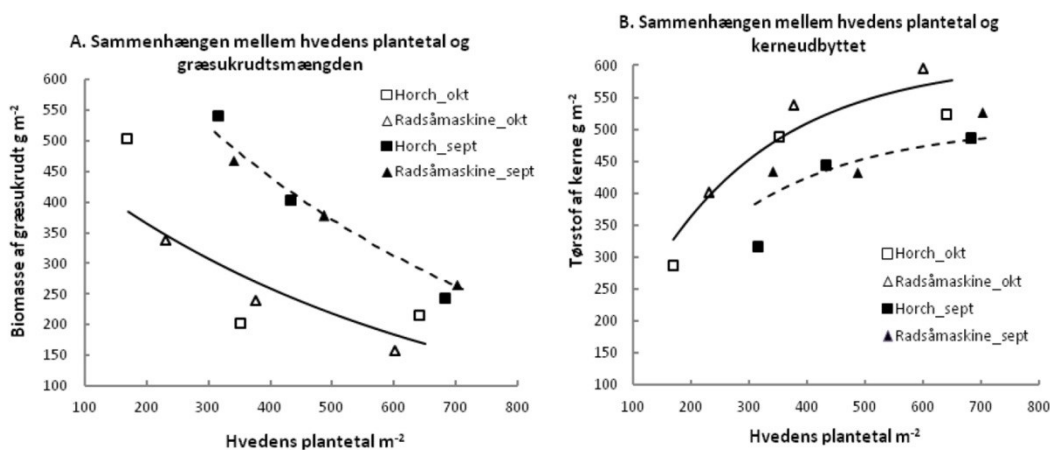
Betydningen af afgrødetæthed kom endnu tydeligere til udtryk i 2011/2012-forsøget, fordi den store og forholdsvis ensartede bestand af ager-rævehale i 2012 forstærkede effekterne af forsøgsfaktorerne. Figur 3A viser, hvordan biomassen af græsukrudt (ager-rævehale + vindaks) falder eksponentielt med stigende afgrødetæthed. Henfaldsraten var statistisk ens for begge såtidspunkter og medførte en reduktion i biomassen af græsukrudtet på 16% for hver 100 planter,

som afgrødetætheden blev øget indenfor intervallet 200-800 planter m⁻². Endvidere medførte sen såning en generel reduktion i biomassen af græsukrudt på ca. 41% uanset afgrødetæthed. Sen såning i oktober medførte, at hveden klarede sig bedre i konkurrence med ukrudtsgræsserne end ved tidlig såning, da både ukrudtsgræssernes fremspring og efterfølgende vækst var mere forsinket end hvedens ved sen såning – helt i tråd med tidligere undersøgelser af såtidspunktets betydning. De forskellige etableringsmønstre som såmaskinerne frembragte havde ikke afgørende betydning for udbredelsen af græsukrudtet i 2012, idet punkterne følger den samme eksponentielle sammenhæng med afgrødetæthed som vist i figur 3A. Antallet af vindakstoppe viste ingen klare respons på de undersøgte faktorer, fordi bestanden af ager-rævehale fuldstændig dominerede billedet.

Hvedens kerneudbytte blev påvirket af den store græsukrudtsforekomst og forsøgsfaktorernes effekt på græsukrudtet. Som vist i figur 3B var sammenhængene mellem kerneudbyttet og afgrødetæthed lige omvendt af sammenhængene vist i figur 3A. Igen blev data beskrevet ved hjælp af en eksponentialfunktion men med et omvendt forløb. Stigningsraten var statistisk ens for begge såtidspunkter og medførte en stigning i udbyttet på ca. 13% fra et tilstræbt plantetal på 400 til 800 planter m⁻². Endvidere medførte sen såning en generel stigning i udbyttet på ca. 20 % uanset afgrødetætheden. De største udbytter blev opnået ved høj tæthed af hvede og en udsættelse af såtidspunktet, fordi det førte til det mindste konkurrencetryk fra græsukrudtet. I parceller uden ukrudtsgræsser var der ingen udbytteforskelle mellem de to såteknikker og mellem såtidspunkterne, men derimod en forskel i udbytte ved forskellig afgrødetæthed. Ved såning i september gav alle afgrødetætheder ca. samme udbytte, mens den tilstræbte plantetæthed på 200 planter m⁻² gav signifikant lavere udbytte ved sen såning end de to øvrige tætheder, som ikke var signifikant forskellige. I lighed med forsøget i 2010/2011 var 1000-kornsvægten ikke påvirket af forsøgsfaktorerne.

Semifieldforsøg

Resultaterne af semifieldforsøgene er analyseret ved hjælp af varians- og regressionsanalyser. Der er efterfølgende foretaget parvise sammenligninger af behandlinger ved hjælp af Duncans Multiple Comparison test.



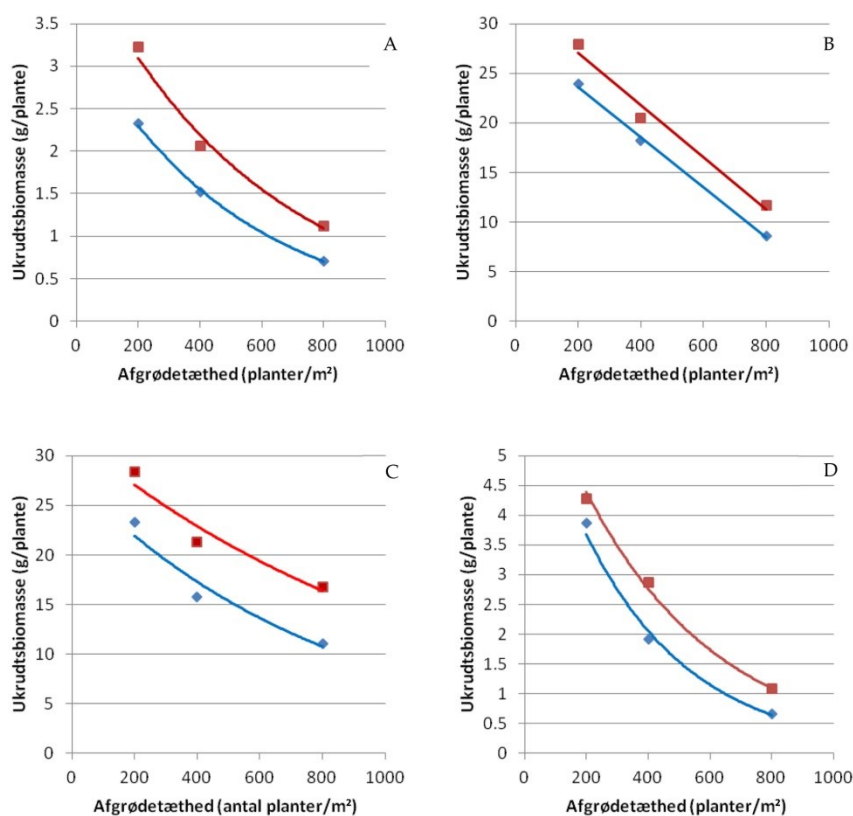
FIGUR 3. SAMMENHÆNGENE MELLEM AFGRØDETÆTHED OPTALT I EFTERÅRET 2011, SÅTEKNIK, SÅTIDSPUNKT OG EFFEKTER PÅ TØRSTOFMÆNGDEN AF GRÆSUKRUDT (AGER-RÆVEHALE + VINDAKS) (A) OG KERNEUDBYTTEI HVEDE (B) I 2012. PUNKTERNE ER OBSERVEREDE VÆRDIER VIST SOM GENNEMSNIT AF 4 GENTAGELSER. KURVERNE ER DATA TILPASSET EN EKSPONENTIALFUNKTION, OG HVER FIGUR A OG B VISER MINDSTE MODEL, HVOR IKKE SIGNIFIKANTE EFFEKTER AF SÅTEKNIK ER UDELUKKET. OBSERVEREDE GENNEMSNIT I FIGUR A. ER TILBAGETRANSFORMEREDE GENNEMSNIT FRA EN ANALYSE BASERET PÅ LOGARITMETRANSFORMEREDE TAL.

I første års forsøg med ærenpris var der ikke signifikant effekt af ukrudtstæthed. I andet års forsøg var vægten af ærenpris signifikant lavere ved den høje ukrudtstæthed (300 planter m⁻²)

sammenlignet med den lave ukrudtstæthed (100 planter m^{-2}). I gennemsnit af behandlingerne blev friskvægten per ærenprisplante reduceret med 40 % ved den høje ukrudtstæthed. Dette indikerer, at der har været intraspecifik konkurrence, hvilket også stemmer godt overens med, at ærenprisplanterne i 2012 var langt større end i 2011.

I 2011 var der ikke vindaksplanter nok til at etablere de ønskede 100 og 300 planter m^{-2} . Dette forsøg er derfor udeladt af analyserne, da der foreligger to forsøg med de ønskede ukrudtstætheder fra 2012. I alle vindaksforsøgene blev der observeret en tendens til, at biomassen per vindaksplante var større i forsøgsled med 300 vindaksplanter m^{-2} end i kasser med 100 vindaksplanter m^{-2} . Der er ikke nogen oplagt forklaring på denne forskel, idet en tæt plantebestand af vindaks burde give en større intraspecifik konkurrence, som måtte forventes at reducere biomassen pr. plante.

Udsædsmængden var i alle forsøg den parameter, som havde størst betydning for konkurrencen overfor ærenpris og vindaks. Som gennemsnit af forsøgsbehandlingerne var der signifikant forskel på ukrudtsbiomasse ved de forskellige afgrødetætheder. Når afgrødetætheden blev øget fra 200 planter m^{-2} til 400 planter m^{-2} blev biomassen af ærenprisplanterne reduceret med 25-35%. Ved at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} blev biomassen af ærenpris yderligere reduceret med 30-35%. Den bedste beskrivelse af ukrudtsbiomasse som funktion af afgrødetæthed var en eksponentialfunktion for resultaterne fra 2011, mens resultaterne fra 2012 viste en lineær sammenhæng mellem afgrødetæthed og biomasse af ærenpris (figur 4A og 4B).



FIGUR 4.

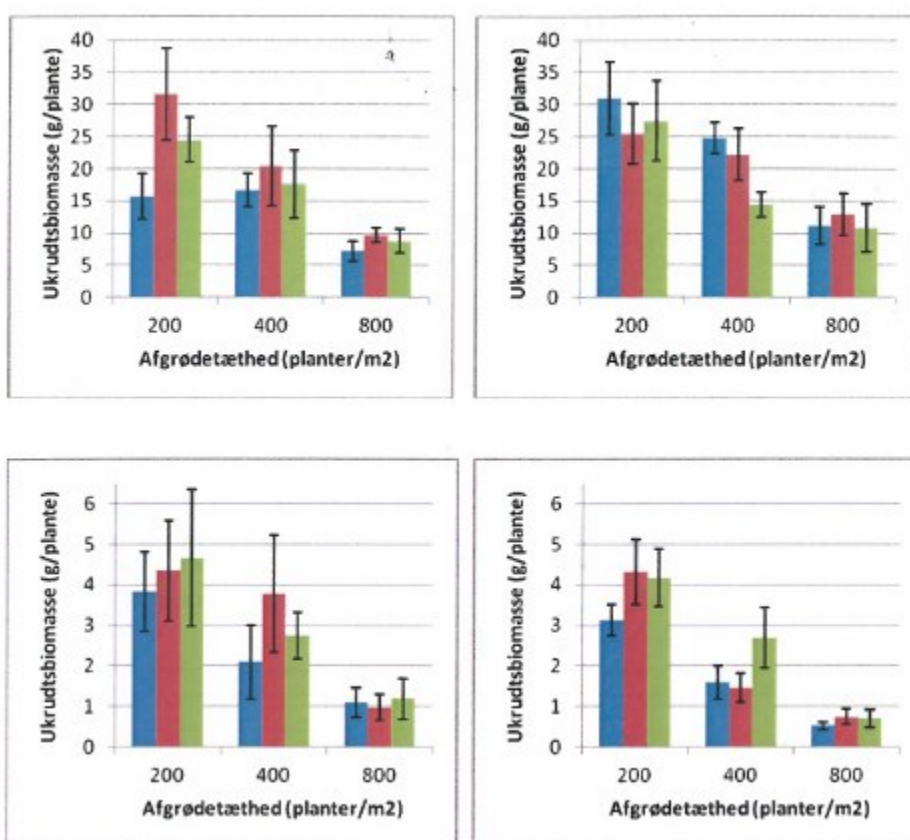
EFFEKT AF SORTER OG AFGRØDETÆTHED PÅ BIOMASSE (FRISKVÆGT) AF ÆRENPRIS (A OG B) OG VINDAKS (C OG D) VIST SOM GENNEMSNIET AF UKRUDTSTÆTHEDER. DE BLÅ SYMBOLER VISER RESULTATER MED SKAGEN, MENS DE RØDE SYMBOLER VISER RESULTATER MED SLEIPNER. SEMIFIELDFORSØG.

I vindaksforsøgene blev der i det ene forsøg fundet en reduktion af ukrudtsbiomassen på 25-30 % ved at øge afgrødetætheden fra 200 til 400 planter m^{-2} , og en reduktion på yderligere 15-20 % ved

at øge afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} . I det andet forsøg var effekterne af øget plantetæthed større med 35-50 % reduktion af ukrudtsbiomasse ved at øge afgrødetætheden fra 200 til 400 planter m^{-2} og yderligere 30 % reduktion ved at øge afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} . (figur 4B og 4C). Den bedste beskrivelse af effekt af afgrødetæthed på biomasse af vinddaks var for begge forsøg en eksponentialfunktion.

Effekten af etableringsmåde (såteknik) var i alle forsøg lille og kun i få tilfælde blev der fundet signifikant udslag mellem de forskellige såmønstre. Der var ingen tendens til, at den mere ensartede afgrødefordeling, som blev opnået med Horsch systemet, resulterede i en bedre konkurrence over for ukrudtsarterne (figur 5).

I alle forsøg blev der fundet en signifikant effekt af hvedesort. I gennemsnit af forsøgsbehandlingerne blev der opnået mellem 17 og 26% større reduktion af biomassen af ukrudt med Skagen i forhold til Slepner. Forskellen i sorterens konkurrenceevne overfor ukrudtet var uafhængig af afgrødetæthed, hvilket fremgår af de tilnærmelsesvis parallelle kurver.



FIGUR 5. EFFEKT AF AFRØDENS RUMLIGE FORDELING OG TÆTHED PÅ KONKURRENCE OVERFOR ÆRENPRIS (ØVERST) OG VINDAKS (NEDERST) VIST SOM GENNEMSNIET AF UKRUDTSTÆTHEDER. Y-AKSEN ANGIVER FRISKVÆGT I G PER UKRUDTSPLANTE. VENSTRE FIGUR VISER EFFEKT MED HVEDESORTEN SKAGEN, OG DEN HØJRE FIGUR VISER EFFEKT MED SLEIPNER. DE BLÅ SØJLER ANGIVER EFFEKT AF RADSÅNING, RØDE OG GRØNNE SØJLER VISER EFFEKT AF TO FORSKELLIGE SÅMØNSTRE MED HORSCH (HORSCH 1 OG HORSCH 2). SEMIFIELDFORSØG 2012.

Diskussion

Resultaterne af mark- og semifieldforsøg viser samstemmende, at der kan opnås væsentlige reduktioner i ukrudtstrykket ved at øge afgrødetætheden - også overfor meget konkurrencesterke arter som for eksempel ager-rævehale. Ved at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} er der opnået 40-65% reduktion af ukrudtsbiomassen i markforsøgene, mens semifieldforsøgene viste effektforøgelse på 15-35%. Til sammenligning er der i Landsforsøgene i 2012 ved såning i

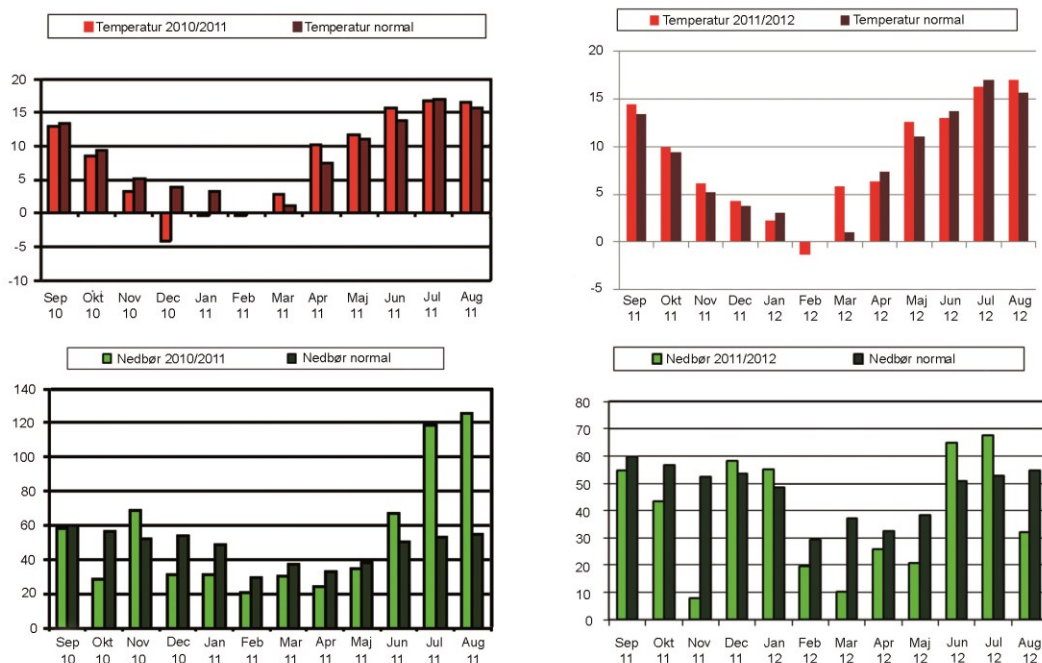
september registreret henholdsvis 12 og 27% effekt over for ager-rævehale ved at øge udsædsmængden med 20 % (Pedersen, 2012).

Ved øget afgrødetæthed opstår der intraspecifik konkurrence mellem afgrødeplanterne, hvilket kan påvirke udbyttet. En anden ulempe ved øget afgrødetæthed er større risiko for lejesæd og svampeangreb. Med henblik på en rimelig balance mellem fordele og ulemper er den anbefalede afgrødetæthed i vinterhvede mellem 225 og 400 planter m^{-2} (www.landbrugsinfo). I 2011 var der i vores forsøg et udbytteoptimum ved en afgrødetæthed på 400 planter m^{-2} ved rækkesåning uanset såtidspunkt. Da den høje afgrødetæthed mangler for Horsch i 2011 forsøget, er det ikke muligt at afgøre, hvilken effekt en større afgrødetæthed har med dette system. I 2012 blev der opnået udbyttestigning på 13% for at øge afgrødetætheden fra 400 til 800 planter m^{-2} i parceller med ukrudt. I parceller uden ukrudt var der øget udbytte ved at øge plantetallet fra 200 til 400 planter m^{-2} , men ingen forskel i udbytte ved yderligere forøgelse af afgrødetætheden til 800 planter m^{-2} . Ved et stort ukrudtstryk kan en afgrødetæthed på mere end de 400 anbefalede planter m^{-2} medvirke til en reduktion af ukrudtsbiomassen, men en øget afgrødetæthed kan samtidig medføre et udbyttetab, som vist i forsøget fra 2011 og vil medføre større omkostninger til udsæd samt større tidsforbrug til såning. Sammenholdt med den øgede risiko for lejesæd og svampesygdomme vil en sådan strategi være vanskelig at implementere alene som et led i integreret ukrudtsbekæmpelse men primært være interessant i situationer, hvor der ikke findes andre bekæmpelsesmetoder for eksempel til bekæmpelse af resistente ukrudtsarter. I Landsforsøgene 2012 var der ikke signifikant forskel i udbytt niveau ved at hæve udsædsmængden 20 % på normalt såtidspunkt, men den høje udsædsmængde medførte et lavere nettomerudbytte på grund af øgede udgifter til såsæd (Pedersen, 2012). I Canada har landmændene som led i en integreret ukrudtsbekæmpelse øget udsædsmængden i korn med 50 % over de sidste 5 år (anbefalet plantetal i korn er nu 225-275 planter m^{-2}) uden udbyttetab (Blackshaw *et al.*, 2008).

Markforsøgene viser i begge år, at sen såning reducerer ukrudtstrykket sammenlignet med såning i september. Årsagen til den større reduktion af ukrudtsbiomassen ved sen såning i 2010/2011 forsøget (70 %) sammenlignet med 2011/2012 forsøget (40 %) skal sandsynligvis findes i de meget forskellige klimatiske forhold i de to år (figur 6). Begge år var nedbørsmængden i oktober lavere end normalt, men i 2010 optrådte den første frost d. 17. oktober, og fra slutningen af november frem til slutningen af februar var den gennemsnitlige temperatur under 0°C, og afgrøderne var dækket af sne. Foråret var varmt – specielt april med en gennemsnitstemperatur der lå 39% højere end normalen. Den lange periode med frost og sne kort tid efter sidste såning reducerede fremspiringen af både græsukrudt og hvede. Med de høje temperaturer i april kom hveden hurtigt i vækst og opnåede samlet set en god konkurrenceevne overfor ukrudtet, som blev reduceret med næsten 70 % i forhold til ukrudtsbiomassen ved såning i september. Den begrænsede vækst af hveden i efteråret betød dog, at udbyttet blev 10 % lavere end ved tidlig såning. De store nedbørsmængder i august gjorde høsten yderst problematisk og sen.

I 2011 var temperaturen over frysepunktet i stort set hele efteråret og først i slutningen af januar 2012, fik vi for alvor frost. Der var således vækst i både græsukrudt og hvede langt hen på vinteren, og den udsatte såning gav derfor lavere effekt på biomassen af græsukrudtet end i det forudgående år. I 2012 blev der opnået samme udbytte i tidligt og sent såede parceller uden ukrudtsgræsser, men 20 % merudbytte for sen såning, hvor der var ukrudtsgræsser tilstede. Resultaterne svarer meget godt til resultater af Landsforsøgene 2012, hvor der i vinterhvede er opnået mellem 45 og 63% reduktion af ager-rævehale ved at udsætte såning fra midten af september til starten af oktober (Pedersen, 2012). Resultaterne indikerer, at effekten af sen såning er større under danske forhold end i England, hvor sen såning antages at give 30 % effekt på ager-rævehale (Lutman & Moss, 2009). En analyse af tre års Landsforsøg viser, at udbyttet kun er svagt påvirket af såtidspunktet. Der er en tendens til, at de højeste nettomerudbytter opnås ved tidlig såning i første halvdel af september, hvilket primært skyldes den lavere omkostning til såsæd (Pedersen, 2012). På arealer med stor mængde ager-rævehale er der opnået mellem 14 og 30 % merudbytte ved at kombinere

kemisk ukrudtsbekæmpelse med sen såning sammenlignet med kemisk ukrudtsbekæmpelse alene. I forsøgsled uden kemisk ukrudtsbekæmpelse gav forsøgsled med sen såning mellem 25 og 68% merdubytte. På arealer med stort ukrudtstryk kan en planlagt udsættelse af såning være en måde at regulere ukrudtstrykket. Der må dog påregnes et mindre nettoudbytte grundet større udsædsmængde samt en større risiko for udvintring af afgrøden.



FIGUR 6. TEMPERATUR OG NEDBØRSDATA FOR VÆKSTSÆSON 2010/2011 OG 2011/2012.

Sortsvalg havde i alle semifieldforsøg en signifikant effekt og den konkurrencesterke sort Skagen gav i gennemsnit ca. 20 % reduktion af ukrudtsbiomassen sammenlignet med Sleipner. I Landsforsøgene 2012 blev der opnået mellem 8 og 18% reduktion af ager-rævehale ved at vælge en konkurrencesterk sort med et konkurrenceindeks på 0,82 mod en konkurrencesvag sort med et konkurrenceindeks på 1,13 (Pedersen, 2012). Ud fra sortslisten er det muligt at vælge konkurrencesterke sorter, og dermed udnytte sortsvalg aktivt som et led i en integreret ukrudtsbekæmpelse. Det der primært bestemmer sortsvalg er dog udbyttepotentialet og udbyttestabiliteten, og der er desværre tendens til en negativ sammenhæng mellem udbytte og konkurrenceevne (Christensen *et al.*, 1996). Moderne fremavlsprogrammer fremmer kortstråede (= konkurrencesvage) sorter, dels på grund af et større udbyttepotentiale dels grundet et mindre behov for vækstregulering. Blandt de ti højstydende sorter på sortslisten 2012 varierede konkurrenceindekset fra 0,83 til 1,17.

Der var ikke signifikant effekt overfor ukrudtet af de forskellige afgrødefordelinger med Horsch systemet og såning på 12 cm's rækkeafstand hverken i semifield- eller markforsøgene. Visuelt vurderet var der klart en mere tilfældig fordeling af afgrøden i parceller sået med Horsch systemet. Dette har øjensynligt ikke været tilstrækkeligt til at give en øget konkurrence overfor ukrudtet. Betydning af afgrødefordeling for vårhvedes konkurrenceevnen over for ukrudt er tidligere undersøgt i flere studier (Weiner *et al.*, 2001; Olsen *et al.*, 2012; Kristensen *et al.*, 2008). I de fleste studier er der fundet effekt på tokimbladede ukrudtsarter af øget afgrødetæthed og en mere ensartet afgrødefordeling. I to års forsøg med vinterhvede fandt Olsen *et al.*, (2005) ligeledes, at øget afgrødetæthed og en bedre rumlig fordeling af afgrødeplanterne reducerede biomassen af

tokimbladede ukrudtsarter. I parceller med ukrudt blev der opnået merudbytter for øget afgrødetæthed og rumlig fordeling, mens udbyttet ikke var påvirket i ukrudtsfrie parceller (Olsen *et al.*, 2005). De fleste af de tidligere forsøg adskiller sig fra vores forsøg ved primært at være udført i vårhvede med tokimbladet ukrudt samt ved såmetoden, hvor Weiner *et al.* anvender en specialbygget såmaskine, som giver en fordeling, hvor afstanden mellem alle planter er den samme. I denne arbejdsplan er det valgt at anvende Horsch systemet, som er et kommercielt tilgængeligt system.

I relation til vores hypotese om at ukrudtets vækst i korn kan hæmmes ved valg af konkurrencedygtige sorter i kombination med regulering af såtidspunkt, udsædsmængde og afgrødens rumlige fordeling kan vi konkludere, at udsædsmængde, såtidspunkt og sortvalg har potentiale for at indgå som faktorer i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi, mens afgrødens rumlige fordeling ikke har haft betydning for konkurrencen mellem vinterhvede og de ukrudtsarter, som indgik i vores undersøgelser. Ved optimale kombinationer af sen såning, konkurrencedygtige sorter og stor udsædsmængde kan der opnås mere end 80 % reduktion af biomassen af ukrudt. Desværre viser forsøgene også, at optimering af afgrødestruktur i forhold til ukrudtsregulerende effekt ofte vil betyde et udbyttetab. Der er en tendens til en negativ korrelation mellem udbytte og konkurrenceindeks, så en meget konkurrencedygtig sort sjældent samtidig er den højestydende. Konkurrenceevnen er relateret til strå længden, og der er derfor større risiko for lejesæd i de konkurrencedygtige sorter. En øget udsædsmængde vil yderligere øge risikoen for lejesæd og tillige angreb af svampesygdomme. Konkurrencedygtige sorter og høj udsædsmængde kan derfor give uheldige sideeffekter i form af et øget behov for vækstregulering og sygdomsbekæmpelse med deraf følgende risiko for reduceret kernekvalitet. Sen såning har begge forsøgsår reduceret biomassen af ukrudt markant og kan anvendes i en integreret ukrudtsbekæmpelsesstrategi, men indebærer dog altid en risiko for at det af klimatiske årsager ikke bliver muligt at tilberede et ordentligt såbed, ligesom risikoen for udvintring stiger ved sen såning. Endelig vil det ofte ved lav ukrudtstryk være forbundet med et udbyttmæssigt tab at udsætte såning. Fælles for de fire elementer er det, at afgørelsen om deres anvendelse skal tages, før man kender ukrudtsproblemet i den aktuelle mark. I betragtning af de øgede omkostninger og den risiko for udbyttetab, som er forbundet med metoderne, vil de primært finde anvendelse, hvor man erfaringsmæssigt ved, at der er massive ukrudtsproblemer eller hvor der er problemer med resistente ukrudtsarter.

Referencer

- Amann A, Zwerger P & Hurler K. (1992). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII, 269-276.
- Bewley JD & Black M. (1983). Seeds. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. 1. Development, germination and growth. Springer Verlag. Berlin.
- Blackshaw RE. (2007). Cultural Weed Management, in Non-chemical weed management: principles, concepts and technology Wallingford. CABI.
- Blackshaw RE, Harker KN, O'Donovan JT, Beckie HJ & Smith EG. (2008). Ongoing development of integrated weed management systems on the Canadian prairies. Weed Science, 56, 146-150.
- Boyd NS, Brennan EB, Smith RF & Yokota R. (2009). Effect of seeding rate and planting arrangement on rye cover crop and weed growth. Agronomy Journal 101 (1), 47-51.
- Christensen S. (1993). Herbicide dose adjustment and crop weed competition. Brighton Crop Protection Conference – Weeds, 1217-1222.
- Christensen S & Rasmussen G. (2004). Differential weed suppression and weed control in winter wheat. Aspects of Applied Biology 40, 335-342.
- Christensen S. (1995). Weed suppression ability of spring barley varieties. Weed Research 35, 241-247.
- Christensen S, Rasmussen G, Olesen J & Jørgensen LN. (1996). Weed Management for integrated winter wheat production. Proceedings Second International Weed Control Congress, 1003-1008.

Hansen PK & Christensen S. (2000). Indeksering af vinterhvedesorters konkurrenceevne over for ukrudt. DJF rapport nr. 23, 17. Danske Planteværnskonference I, 104-113.

Hashem A, Radosevich SR & Roush ML. (1998). Effect of proximity factors on competition between winter wheat (*Triticum aestivum*) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *Weed Science*, vol. 46, 2, s. 181-190.

Kolb LN, Gallandt ER & Mallory EB. (2012). Impact of spring wheat planting density, row spacing, and mechanical weed control on yield, grain protein, and economic return in Maine. *Weed Science* 60 (2), 244-253.

Kristensen L, Olsen J & Weiner J. (2008). Crop density, sowing pattern and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. *Weed Science*, 56, 97-102.

Lemerle D, Verbeek B & Coombes N. (1995). Losses in grain yield of winter crops from *Lolium rigidum* competition depend on crop species, cultivar and season. *Weed Research* 35 (6), 503-509.

Lemerle D, Verbeek B, Cousens RD & Coombes NE. (1996). The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research*, 36, 505-513.

Lemerle D, Cousens RD, Gill GS, Peltzer SJ, Moerkerk M, Murphy CE, Collins D & Cullis BR. (2004). Reliability of higher seed rates of wheat for improved competitiveness with weeds in low rainfall environments. *Journal of Agricultural Science*, 142, 395-409.

Lutman & Moss. (2009). The management of weeds in winter cereals: the role of crop agronomy. *Research Review for Syngenta*, 56 pp.

Medd RW, Auld BA, Kemp DR & Murison RDS. (1985). The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Australian Journal of Agricultural Research* 36 (3), 361-371.

Melander B. (2005). Impact of drilling date on *Apera spica-venti* L. and *Alopecurus myosuroides* Huds. in winter cereals. *Weed Research* 35, 157-166.

Melander B. (1998). Anvendelse af falsk såbed, blindharvning og flammebehandling i højtærtafgrøder. Bilag til 15. Danske Planteværnskonference/ Ukrudt, 191-201.

Mohler CL. (2001). Enhancing the competitive ability of crops. In Leibman M., Mohler C.L., Staver C.P. (eds) *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press, New York, pp 40-98.

Olesen JE, Hansen PK, Berntsen J & Christensen S. (2004). Simulation of above-ground suppression of competing species and competition in winter wheat varieties. *Field Crop Research* 89, 263-280.

Olsen J, Weiner J. (2007): The influence of *Triticum aestivum* density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. *Basic Application Ecology*, 8, 252-257.

Olsen J, Kristensen L & Weiner J. (2005). Effects of density and spatial pattern of winter wheat on suppression of different weed species. *Weed Science*, 53, 5, 690-694.

Olsen J, Griepentrog H, Nielsen J & Weiner J. (2012). How important are crop spatial pattern and density for weed suppression by spring wheat? *Weed Science* 60 (3), 501-509.

Pedersen JB. (2012). Oversigt over Landsforsøgene 2012, Videncentret for Landbrug

Weiner J, Griepentrog H & Kristensen L. (2001). Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology*, 38, 784-790.

www.sortsinfo.dk

www.landbrugsinfo.dk

Bilag 4: Delrapport AP4 – Mellem- og efterafgrøders ukrudtseffekt

Per Kudsk & Solvejg K. Mathiassen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Otto Nielsen, Nordic Beet Research

Indledning

En af hjørnestenene i integreret plantebeskyttelse er at anvende forskellige metoder med henblik på bl.a. at forebygge selektion i populationen af skadegørere og udvikling af pesticidresistens.

Dyrkning af efterafgrøder er en af de metoder, som kan tages i brug for at diversificere ukrudtsbekæmpelsen. Efterafgrøder er afgrøder, som dyrkes i perioden fra høst af en afgrøde til etablering af den næste vårafgrøde. Forud for eller umiddelbart efter etablering af hovedafgrøden afsluttes væksten af efterafgrøden enten ved at anvende herbicider eller ved mekanisk bekæmpelse. Alternativt kan der anvendes en efterafgrøde, som ikke tåler frost, hvorved man kan spare udgiften til herbicider eller mekanisk afslutning af væksten. Det er dog ofte nødvendigt i praksis at bearbejde arealet for at bekæmpe overvinterende ukrudt og spildkorn, hvorved efterafgrøden også bekæmpes. Hvis efterafgrødens vækst afsluttes inden etablering af hovedafgrøden, kan efterafgrøden enten indarbejdes i jorden eller efterlades på jordoverfladen.

I de senere år er der i forbindelse med efterafgrøder dukket et andet begreb op nemlig mellemafgrøder. En mellemafgrøde er en afgrøde, som dyrkes i perioden mellem høst af en afgrøde og såning af en vintersædsafgrøde. En mellemafgrøde er således en efterafgrøde med en meget kort vækstperiode, og kun afgrøder med en meget hurtig vækst er af interesse som mellemafgrøder. Efterafgrøder har tiltrukket sig stor opmærksom i de senere år, fordi de potentielt kan have mange positive effekter såsom at mindske tabet af næringsstoffer, forebygge jorderosion og mindske problemerne med skadegørere (Sarrantonio & Gallandt, 2003). I forbindelse med dette projekt er det effekter over for ukrudt, som er i fokus, men undersøgelser med efterafgrøder tilhørende specielt korsblomstfamilien har vist effekter overfor skadedyr og sygdomme (f.eks. Giamoustaris & Mithen, 1995; Sarwar & Kirkegaard, 1998; Mithen, 2001).

I relation til effekten over for ukrudt er det især efterafgrøder af vinterrug og korsblomstfamilien, som har været undersøgt. Eksempler på korsblomstrede efterafgrøder er vinterraps, olieræddike og gul sennep, hvor de to sidstnævnte under normale klimaforhold ikke overlever vinteren. For mellemafgrøders vedkommende har interessen primært været på olieræddike, som har en meget hurtig vækst i sensommeren. Ukrudtseffekten af vinterrug og planter tilhørende korsblomstfamilien er blevet tilskrevet disse planters indhold af allelokemiske stoffer henholdsvis benzoxazinoider i rug (Schultz *et al.*, 2013) og glucosinolater i korsblomstrede planter (Haramoto & Gallandt, 2004). Formålet med denne arbejdsopgave var at undersøge effekten af mellem- og efterafgrøder på væksten af ukrudt i den efterfølgende afgrøde. Arbejdshypotese var, at dyrkning af mellemafgrøder forud for såning af vintersæd og en efterafgrøde forud for etablering af en vårafgrøde kan hæmme ukrudtets fremspiring og/eller vækst.

Som mellemafgrøde er anvendt olieræddike, som er indarbejdet i jorden forud for etablering af vintersæden. Som efterafgrøde forud for såning af en vårafgrøde er anvendt gul sennep og vinterrug. Anvendelsen af efterafgrøder er i dette projekt kombineret med dyrkningsmetoden ”strip tillage”, som kan anvendes i afgrøder, som sås på rækker som f.eks. majs og sukkerroer. Princippet i ”strip tillage” er, at kun området omkring rækken jordbehandles, mens resten af marken efterlades uberørt. Det gør det muligt at efterlade efterafgrøden på jordoverfladen.

Effekten af mellem- og efterafgrøder er bedømt ved at udtage intakte jordprøver fra markforsøg og så testplanter direkte i jordprøverne, samt ved visuelle bedømmelser af ukrudtsforekomsten i markforsøgene.

State of art

En række markforsøg har dokumenteret, at indarbejdning i jorden af vinterraps og andre korsblomstrede plantearter kan hæmme fremspiringen og væksten af ukrudt i den efterfølgende afgrøde.

Grodzinsky (1992) fandt, at vinterraps indarbejdet i jorden forud for etablering af forårsetablerede afgrøder reducerede antallet af ukrudtsplanter med 40 %. Al-Khatib *et al.* (1995) opnåede 15-30 % reduktion af ukrudtstætheden i ærter efter indarbejdning af raps eller gul sennep. Boydston & Hang (1995) undersøgte effekten af at indarbejde vinterraps sået i efteråret forud for etablering af en kartoffelafgrøde og fandt en reduktion i antal ukrudtsplanter og ukrudtsbiomasse på henholdsvis 85 og 96 % i 1992 og 73 og 50 % i 1993. I forsøg i væksthuse, hvor plantemateriale af henholdsvis raps og gul sennep blev inkorporeret i jord og fyldt i potter, hvorefter der blev sået frø af ukrudtsplanter, fandt Boydston & Hang (1995) mellem 70 og 90 % reduktion i biomassen ved høst 3 uger efter såning. I et markforsøg med varierende mængder af plantemateriale fandt Al-Khatib & Boydston (1999) en stigende effekt med stigende mængder plantemateriale.

Undersøgelser under kontrollerede forhold med vandige planteekstrakter (Liebman & Davis, 2000) og rene glucosinolater (Petersen *et al.*, 2001) har vist, at små frø er mere følsomme end store frø. Haramoto & Gallandt (2005a) udsåede testplanter i marken umiddelbart efter nedmuldning af forskellige efterafgrøder og fandt som gennemsnit af forskellige korsblomstrede efterafgrøder og 16 testplanter, som inkluderede både afgrøder og ukrudtsarter, at fremspiringen blev reduceret med 23 til 34 % og i gennemsnit var forsinket 2 dage. Modsat tidligere undersøgelser fandt de ingen sammenhæng imellem frøstørrelse og effekt af efterafgrøderne. På trods af en effekt på fremspiringen og væksten af opret amarant (*Amaranthus retroflexus*) blev der ikke fundet nogen effekt af korsblomstrede efterafgrøder på konkurrenceforholdet imellem denne ukrudtsart og en afgrøde af grønne bønner (Haramoto & Gallandt, 2005b).

Nyere undersøgelser har ligeledes dokumenteret en effekt af en efterafgrøde af vinterraps på fremspiring og vækst af ukrudtsplanter (Kruidhof *et al.*, 2008), men også at effekten er afhængig af et kompleks sammenspil mellem tidspunktet for frigivelsen af de allelokemiske stoffer, ukrudtsartens følsomhed og fremspiringsforløb samt frøstørrelsen (Kruidhof *et al.*, 2011). Effekterne på ukrudtet af en grønafgrøde af rug afhænger af, hvorvidt plantematerialet indarbejdes i jorden, eller det døde plantemateriale efterlades på jordoverfladen. Der er flere erfaringer med at efterlade vinterrugen på jordoverfladen end med indarbejdning i jorden, og effekterne er også generelt bedre. Barnes & Putnam (1983) observerede en næsten total bekæmpelse af en række ukrudtsarter, og tilsvarende resultater er fundet af Creamer *et al.* (1996) og Bottenberg *et al.* (1997). Indarbejdning af rug forud for såning havde i en række forsøg kun en mindre effekt på ukrudtet (Putnam, 1986; Creamer *et al.*, 1996; Masunias, 1999). Der er dog også forsøg, som har vist god effekt af vinterrug indarbejdet i jorden. Således fandt Boydston & Vaughn (2002) en lige så god effekt af vinterrug indarbejdet imellem kartoffelrækkerne som efter en kemisk bekæmpelse eller gentagne kultiveringer, og Shilling *et al.* (1985) fandt samme effekt af vinterrug indarbejdet i jorden, som hvis den var efterladt på jordoverfladen.

Man har antaget, at årsagen til at effekten er større, når plantematerialet efterlades på jorden, skal tilskrives en skyggeeffekt, som hæmmer fremspiringen af ukrudtet, da de fleste ukrudtsarter skal udsættes for en lyspåvirkning for at kunne spire. Også en langsommere nedbrydning af de allelokemiske stoffer og frigivelse over en længere periode har været foreslået som årsager til den bedre effekt, når plantematerialet efterlades på jordoverfladen. En nylig publikation af Teasdale *et al.* (2012) har kastet lidt mere lys over dette forhold. I et markforsøg sammenlignede de effekten af at indarbejde vinterrug i jorden og efterlade den på jordoverfladen. Vinterrug efterladt på jordoverfladen havde effekt på fremspiring af testplanterne havesalat og top-amarant (*Amaranthus hybridus*) igennem hele forsøgsperioden på 4 uger, mens vinterrug indarbejdet i jorden kun havde effekt i 2 uger. I forsøget blev der udtaget jordprøver under vinterrugen i de parceller, hvor

plantematerialet var blevet efterladt på jordoverfladen. Der blev sået frø af de samme testplanter i de udtagne jordprøver, men der var næsten ingen effekt, hvilket indikerer, at effekten af vinterrug efterladt på jordoverfladen kan tilskrives en fysisk snarere end en kemisk effekt.

Erfaringerne fra et afsluttet projekt under Miljøstyrelsens Pesticidforskningsprogram viste, at effekten på fremspiring og vækst af ukrudtet af både vinterraps og vinterrug etableret i efteråret og indarbejdet i jorden forud for såning af en vårafgrøde var varierende men oftest meget lav (Kudsk *et al.*, 2013). Dette projekt kunne ikke eftervise de positive effekter, der er fundet med korsblomstrede afgrøder i andre undersøgelser, men bekræftede erfaringerne fra udenlandske forsøg, at effekten af vinterrug indarbejdet i jorden ofte er lille.

Det primære formål med denne arbejdsplan var at undersøge, om de positive effekter af at efterlade plantematerialet på jordoverfladen, der er observeret i udenlandske forsøg kunne eftervises under danske forhold. Forsøgene med efterafgrøder blev kombineret med "strip tillage" teknikken. Ved denne metode efterlades efterafgrøden urørt mellem afgrøderækkerne, mens der i de kommende afgrøderækker laves jordbearbejdning to gange i efteråret og to gange i foråret. Bortset fra den anden kørsel i efteråret, hvor der bearbejdes til 10-20 cm dybde, bearbejdes jorden maksimalt til 6-8 cm dybde. Afstanden imellem striberne er 50 cm svarende til rækkeafstanden i sukkerroer, mens bredden af de bearbejdede striber er ca. 20 cm. Jordbearbejdningen i efteråret er nødvendig for at kunne lave et godt såbed til sukkerroerne i foråret. I foråret anvendes en kemisk behandling enten før (glyphosat) eller efter (græsmiddel) såning af afgrøden (sukkerroer) til at nedvise efterafgrøden samt bekæmpe overvintrende ukrudt.

Som efterafgrøder er valgt vinterrug og gul sennep. Sidstnævnte er potentielt et billigt alternativt, da vinteren sørger for at stoppe væksten. Herudover undersøger vi også effekten af en mellemafgrøde af olieræddike indarbejdet forud for såning af vintersæd, da der ingen viden foreligger om de mulige effekter af olieræddike.

Materialer og metoder

Mellemafgrøde af olieræddike

De to forsøg med olieræddike blev udført i to forskellige marker ved Aarhus Universitet i Flakkebjerg i 2012. Oprindeligt var det planen at udføre et forsøg i henholdsvis 2011 og 2012, men meget sen høst i 2011 umuliggjorde etablering af efter- og mellemafgrøder. Olieræddike (sort: Colonel, udsædsmængde: 14 kg/ha) blev i begge forsøg udsået i en vårbygmark d. 18. juli. I begge forsøg blev der udsået en stribe på 36 x 4,5 m med olieræddike. Vårbyggen blev i begge forsøg høstet d. 12. august. Efter høst af vårbyg blev et markforsøg anlagt med nedmuldningstidspunkt som faktor og 4 gentagelser pr. tidspunkt. Parcelstørrelsen var 3 x 4,5 m. Henholdsvis d. 27. august, 12. september og 10. oktober (15, 31 og 59 dage efter høst), blev olieræddiken indarbejdet i jorden med en markfræser. Umiddelbart efter indarbejdningen samt 1 og 2 uger senere blev der udtaget uforstyrrede jordprøver ved at presse rustfri stålør (længde 15 cm, diameter 10 cm) ned i jorden og efterfølgende grave dem fri. Som reference blev der udtaget jordprøver fra et areal på 36 x 4,5 m, som var anlagt parallelt med arealet med olieræddike i en afstand på 2 m og med samme parcellfordeling, således af afstanden imellem arealet, hvor der var indarbejdet olieræddike, og arealet uden mellemafgrøde, var så kort som muligt. Stålrørene fungerede som potte og blev placeret i et væksthuse. Umiddelbart efter at stålrørene var bragt indendørs, blev der sået frø af 4 ukrudtsarter, som er almindeligt forekommende i vintersæd (enårig rapgræs (*Poa annua*), ager-rævehale (*Alopecurus myosuroides*), storkronet ærenpris (*Veronica persica*), agerstedmoder (*Viola arvensis*)) samt vinterhvede. Testplanterne blev høstet 4 til 6 uger efter såning afhængig af udtagningstidspunktet for jordprøverne. Ved høst blev der bestemt frisk- og tørvægt. I tabel 1 er vist en oversigt over behandlingerne. Ukrudtsfremspiringen i markparcellerne med olieræddike og referencearealet blev optalt d. 15. november. Der blev optalt 3 flader af 0,25 m² i hver parcel.

TABEL 1.
DIMENSIONERING AF FORSØGENE MED OLIERÆDDIKE SOM MELLEMAFGRØDE.

Tidspunkt for indarbejdning	Udtagningstid	Testplante	Gentagelser	Antal potter
Ingen mellemafgrøde 15 dage efter høst 31 dage efter høst 59 dage efter høst	Efter nedmuldning 1 uge senere 2 uger senere	Enårig rapgræs Ager-rævehale Storkronet ærenpris Agerstedmoder Vinterhvede	4	240

Efterafgrøde af gul sennep og vinterrug

Forsøgene med efterafgrøderne gul sennep og vinterrug blev udført i 2011, 2013 og 2014 ved Nordic Beet Research i Holeby. I 2012 var der ikke forsøg med efterafgrøder som følge af ugunstige vejrforhold i august 2011, som umuliggjorde tilfredsstillende etablering af efterafgrøde.

Der er gennemført to forsøgsserier. I det ene forsøgsserie blev der udsået gul sennep (sorten Accent) og vinterrug (sorterne Evolo in 2010 og Palazzo i 2012) efter høst af vårbyg. I 2010/11 blev der sået henholdsvis 8 og 20 kg/ha gul sennep og 80 og 200 kg/ha vinterrug. I 2012/13 blev kun den højeste udsædsmængde anvendt, da der ikke blev observeret forskelle imellem udsædsmængderne i 2010/11. I alle årene blev gul sennep ødelagt af frost, hvorimod vinterrugen overlevede vinteren og blev nedvisnet kemisk med glyphosat, hvis nedvisningen blev foretaget inden såning, og med cycloxydim, hvis nedvisningen blev gennemført efter sukkerroernes fremspiring.

Som i forsøget med mellemafgrøde af olieræddike blev der udtaget uforstyrrede jordprøver (se 3.1. vedrørende beskrivelsen af metoden). Jordprøverne blev udtaget 1, 2 og 4 uger efter nedvisning i 2010/11 og 1, 2 og 5 uger efter nedvisning i 2012/13 (tabel 2). Hvor der var dødt plantemateriale på jordoverfladen, blev plantemassen fjernet i forbindelse med såningen af testplanterne og bagefter lagt tilbage på jordoverfladen. På grund af en fejl blev der ikke udtaget jordprøver 1 uge efter anden nedvisning i 2010/11. I forsøgene blev følgende testplanter anvendt: enårig rapgræs (*Poa annua*), alm. hanespore (*Echinochloa crus-galli*) (kun i 2010/11), alm. rajgræs (*Lolium perenne*) (kun 2012/13), natlimurt (*Silene noctiflora*), sort natskygge (*Solanum nigrum*) (kun 2010/11) og lugtløs kamille (*Tripleurospermum inodorum*) (kun 2012/13). Årsagen til at nogle af arterne blev udskiftet med andre i 2012/13 var, at der blev observeret lav spireevne af hanespore og sort natskygge i 2010/11. Resultaterne med alm. hanespore af samme årsag udeladt. Denne forsøgsserie er finansieret via nærværende Miljøstyrelsesprojekt.

TABEL 2.
DIMENSIONERING AF FORSØGENE MED EFTERAFGRØDER AF GUL SENNEP OG VINTERRUG.

Efterafgrøde	Udsæds- mængde	Nedvisnings- tidspunkt	Udtagnings- tidspunkt af jordprøve	Testplanter	Gentagelser	Antal potter
Ingen Gul sennep Vinterrug	<u>Gul sennep</u> 8 og 20 kg/ha <u>Vinterrug</u> 20 og 200 kg/ha	Før såning af sukkerroe Efter såning af sukkerroe	1 uge efter nedvisning 2 uger efter nedvisning 4 uger efter nedvisning	Enårig rapgræs Hanespore/ alm. rajgræs Natlimurt Sort natskygge/ lugtløs kamille	3	288

I den anden forsøgsserie blev der sået sukkerroer til høst, og der blev registreret fremspiring af ukrudt. I 2011 anvendtes to udsædsmængder, men da begge udsædsmængder førte til samme og relativt lave mængde biomasse, blev der kun anvendt den høje udsædsmængde i efterfølgende år. To gange i løbet af efteråret blev der jordbearbejdet i de striber, hvor der i foråret skulle sås sukkerroer med henblik på at fjerne efterafgrøden og derved skabe et godt grundlag for at etablere et såbed om foråret. Der var 4 gentagelser pr. behandling. Denne forsøgsserie er finansieret via en GUDP bevilling.

Omkring 1. december blev der i alle forsøg bestemt biomasse (friskvægt), tørstofindhold og kvælstofindhold i efterafgrøderne med henblik på at beregne kvælstofoptagelsen. Måling af biomasse blev foretaget ved vækstens afslutning, da det ville være vanskeligt at bestemme biomasse af de døde planter af gul sennep i foråret.

TABEL 3.
DATO FOR AKTIVITETER I FORSØG MED EFTERAFGRØDER OG DYRKNING AF SUKKERROER.

Aktivitet	2011-876	2013-882	2013-883	2014-883	2014-884
Efterafgrødesåning	18-08-2010	18-08-2012	18-08-2012	15-08-2013	16-08-2013
Strip till 1	03-09-2010	09-09-2012	09-09-2012	06-09-2013	06-09-2013
Strip till 2	30-09-2010	23-10-2012	23-10-2012	03-10-2013	03-10-2013
Efterafgrødebiomasse	24-11-2010	05-12-2012	05-12-2012	18-12-2013	19-12-2013
Nedvisning 1	13-03-2011	16-04-2013	16-04-2013	13-03-2014	13-03-2014
Nedvisning 2	15-04-2011	03-05-2013	03-05-2013	Indgår ikke	Indgår ikke
Såbedsharvning 1	29-03-2011	23-04-2013	23-04-2013	30-03-2014	30-03-2014
Såbedsharvning 2	30-03-2011	30-04-2013	30-04-2013	12-04-2014	16-04-2014
Såning	29-03-2011	01-05-2013	01-05-2013	17-04-2014	13-04-2014
Ukrudtstælling	22-05-2011	17-07-2013	30-05-2013	26-06-2014	01-07-2014

Statistiske analyser

Tørvægtsresultaterne af de enkelte testplanter fra forsøgene med udtagning af uforstyrrede jordprøver er analyseret med en variansanalyse (PROC GLM, SAS ver. 9.2), og der er foretaget parvise sammenligninger af væksten i jordprøverne med mellem- og efterafgrøder samt jordprøverne udtaget i reference forsøgsled, hvor der ikke var sået mellem- og efterafgrøder.

RESULTATER

Mellemafgrøde af olieræddike

Tilvæksten af olieræddike efter høst var forholdsvis langsom. Ved det seneste nedmuldningsstidspunkt (10. oktober) var biomassen ca. 70 g tørstof/m² svarende til 7 hkg tørstof/ha (tabel 4). Fra første til anden nedmuldningsstidspunkt var der en gennemsnitlig tilvækst på ca. 14 g tørstof/m² pr. dag, som faldt til ca. 10 g tørstof/m² pr. dag i perioden fra anden til tredje nedmuldningsstidspunkt.

TABEL 4.
FRISK- OG TØRVÆGT SAMT PLANTETAL AF OLIERÆDDIKE VED NEDMULDNING (TALLENE I PARENTES ER STANDARDAFVIGELSER).

Indarbejdning (dage efter høst)	Forsøg 1			Forsøg 2		
	Friskvægt (g/m ²)	Tørvægt (g/m ²)	Planter/m ²	Friskvægt (g/m ²)	Tørvægt (g/m ²)	Planter/ m ²
15	43 (16,0)	4,0 (1,4)	48 (16,4)	56 (18,8)	4,9 (1,5)	92 (25,6)
31	297 (76,8)	10,7 (3,0)	72 (18,8)	282 (110,9)	13,9 (11,3)	52 (10,4)
59	536 (97,2)	65,5 (12,7)	28 (10,0)	548 (179,3)	73,4 (25,0)	68 (22,8)

Generelt blev der fundet få signifikante forskelle imellem tørvægten af testplanter dyrket i jord udtaget i de parceller, hvor der var nedmuldet olieræddike, og i parcellerne uden mellemafgrøde. I tabel 5 er resultaterne af den parvise sammenligning vist for hvert af de to forsøg og for hver testplante.

TABEL 5.
PARVISE SAMMENLIGNINGER AF TØRVÆGT AF PLANTER DYRKET I JORD, HVOR DER ER NEDMULDET OLIERÆDDIKE, OG I REFERENCE JORD, HVOR DER IKKE ER DYRKET OLIERÆDDIKE (* P>0,05, NS: IKKE SIGNIFIKANT).

Forsøg 1															
	Enårig rapgræs			Ager-rævehale			Storkronet ærenpris			Agerstedmoder			Vinterhvede		
Udtagning (uger)	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Indarbejdning															
15 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS
31 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS	NS
59 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Forsøg 2															
	Enårig rapgræs			Ager-rævehale			Storkronet ærenpris			Agerstedmoder			Vinterhvede		
Udtagning (uger)	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Indarbejdning															
15 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
31 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
59 dage	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS

Der blev kun i to tilfælde observeret signifikante forskelle med de 4 testplanter, som alle er almindelige ukrudtsarter i vintersæd. For agerstedmoders vedkommende var der tale om en mindre tilvækst i forsøgsleddet, hvor der var nedmuldet olieræddike, mens det modsatte var tilfældet for storkronet ærenpris. For vinterhvedes vedkommende blev der fundet en større tilvækst efter nedmuldning af olieræddike i to tilfælde (et i hvert af forsøgene) samt en mindre tilvækst i et tilfælde (forsøg 1, indarbejdning 31 dage efter høst, udtagningstidspunkt 1).

Bedømmelserne i markparcellerne viste generelt en usædvanlig lav fremspiring af ukrudt på forsøgsarealet både i parceller med olieræddike og reference parceller. Kun i et tilfælde blev der fundet en statistisk signifikant forskel imellem ingen mellemafgrøde og olieræddike (tabel 6).

TABEL 6.

UKRUDTSFREMSPIRING I FORSØGSAREALET, HVOR DER BLEV UDTAGET JORDPRØVER SAMT RESULTAT AF PARVISE SAMMENLIGNINGER (*: $P > 0,05$, NS: IKKE SIGNIFIKANT).

Indarbejdning (dage efter høst)	Antal ukrudtsplanter/m ²		T-test
	Uden olieræddike	Med olieræddike	
Forsøg 1			
15 dage	4,3	0,3	$P > 0,05$
31 dage	1,0	0,3	NS
59 dage	0	0,3	NS
Forsøg 2			
15 dage	1,3	2,0	NS
31 dage	0,7	1,3	NS
59 dage	0	1,0	NS

Efterafgrøde af gul sennep og vinterrug – spiring i intakte jordprøver

I begge forsøgsår var efterafgrødernes vækst i efteråret forholdsvis langsom med det resultat, at biomassen umiddelbart før den første frost var forholdsvis lille (45,0 til 133,4 g tørstof/m² for gul sennep og 34,0-109,6 g tørstof/m² for vinterrug) (tabel 6). Den beregnede kvælstofoptagelse varierede fra 11 til 34 kg N/ha.

TABEL 6.

TØRSTOF (STANDARDAFVIGELSER I PARENTES) OG KVÆLSTOFOPTAGELSE AF EFTERAFGRØDER ETABLERET FORUD FOR SÅNING AF SUKKERROER.

	Tørvægt (g/m ²)		Kvælstofoptagelse (kg N/ha)	
	2010	2012	2010	2012
8 kg/ha gul sennep	110,4 (2,0)	-	32	-
20 kg/ha gul sennep	133,4 (6,6)	45,0 (-)	34	14
80 kg/ha vinterrug	96,4 (7,7)	-	27	-
200 kg/ha vinterrug	109,6 (0,8)	34,0 (-)	27	11

Som tilfældet var for olieræddike, er der i de to efterafgrødeforsøg kun i få tilfælde fundet signifikante forskelle imellem testplanter dyrket i jord med planterester af efterafgrøder og i jord fra parceller, hvor der ikke var dyrket efterafgrøder (tabel 8 & 9).

TABEL 8.

PARVISE SAMMENLIGNINGER AF TØRVÆGT OG ANTAL SPIREDE PLANTER DYRKET HENHOLDSVIS I JORD, HVOR DER HAR VÆRET DYRKET GUL SENNEP ELLER VINTERRUG OG I REFERENCE JORD, HVOR DER IKKE BLEV DYRKET EFTERAFGRØDER (* P>0,05; **P>0,01; ***P>0,001; NS: IKKE SIGNIFIKANT).

2010/ 2011	Tørvægt																	
	Enårig rapgræs						Natlimurt						Sort natskygge					
	Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning		
Udtagning (uger)	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
Gul sennep 8 kg/ha	NS	NS	NS				NS	NS	NS				NS	NS	NS			
Gul sennep 20 kg/ha	NS	NS	NS				NS	NS	NS				NS	NS	NS			
Vinter-rug 80 kg/ha	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	-	NS	NS
Vinter-rug 200 kg/ha	NS	NS	NS	-	-	NS	NS	NS	NS	-	-	NS	**	NS	NS	-	*	NS
	Spiring																	
	Enårig rapgræs						Natlimurt						Sort natskygge					
	Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning		
Udtagning (uger)	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
Gul sennep 8 kg/ha	NS	NS	*				NS	NS	NS				NS	NS	**			
Gul sennep 20 kg/ha	NS	NS	NS				NS	NS	NS				NS	**	NS			
Vinter-rug 80 kg/ha	NS	NS	NS	-	NS	NS	NS	NS	NS	-	-	*	-	**	NS	-	NS	NS
Vinter-rug 200 kg/ha	NS	NS	*	-	NS	NS	NS	***	NS	-	-	NS	-	***	NS	-		NS

TABEL 9.

PARVISE SAMMENLIGNINGER AF TØRVÆGT OG ANTAL SPIREDE PLANTER DYRKET HENHOLDSVIS I JORD, HVOR DER HAR VÆRET DYRKET GUL SENNEP ELLER VINTERRUG OG I REFERENCE JORD, HVOR DER IKKE BLEV DYRKET EFTERAFGRØDER (* P>0,05; **P>0,01; ***P>0,001; NS: IKKE SIGNIFIKANT).

2012/2013	Tørvægt																							
	Enårig rapgræs						Alm. rajgræs						Natlimurt						Lugtløs kamille					
	Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning		
Udtagning (uger)	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5
Gul sennep 20 kg/ha	N	N	*				N	N	N				N	N	N				N	N	N			
Vinterrug 200 kg/ha	*	N	N	N	N	*	N	N	N	N	N	**	N	N	N	N	N	**	N	N	N	N	N	NS
	Spiring																							
	Enårig rapgræs						Alm. rajgræs						Natlimurt						Lugtløs kamille					
	Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning			Første nedvisning			Anden nedvisning		
Udtagning (uger)	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5
Gul sennep 20 kg/ha	N	N	N				N	N	N				N	N	N				N	N	N			
Vinterrug 200 kg/ha	N	N	N	N	N	NS	N	N	N	N	N	N	N	*	N	N	*	*	N	N	N	N	N	NS

Efterafgrøders effekt ved strip tillage dyrkning af sukkerroer

Som reference i disse forsøg er anvendt parceller uden efterafgrøde, som er sammenlignet med dyrkning af gul sennep, vinterrug samt olieræddike. Der blev endvidere udført supplerende behandlinger med to udsædsmængder af hver af de to efterafgrøder, to nedvisningstidspunkter af rug samt effekten af en stubhævning til cirka 10 cm dybde forud for såning af efterafgrøde. Eventuel effekt af efterafgrøden må forventes at afhænge af efterafgrødens mængde og der blev derfor foretaget manuel høst og vejning af efterafgrøderne i forsøgene (tabel 10). Det havde været ønskeligt om tørstofvægten havde ligget på 150-200 g/m², da dette anses for praktisk opnåeligt, men dyrkningsforholdene var mindre gunstige i forsøgsårene. Kvælstofoptagelsen i de overjordiske dele af efterafgrøden blev også målt og lå typisk på 20-30 kg N/ha.

Afgrøden var veletableret i alle forsøg bortset fra parceller med vinterrug i 2011, hvor dosis af herbicid anvendt til nedvisning ikke var tilstrækkelig til at bekæmpe rugen, hvorved denne i et vist omfang udkonkurrerede afgrøden (tabel 11 & 12). Bortset fra dette, var der ingen signifikant effekt af efterafgrøde på rod- og sukkerudbyttet i de tre forsøg (tabel 12).

Ukrudtsniveauet var generelt meget lavt i forsøgene, hvilket til dels skyldtes strip tillage-teknikken. Der var en tendens til, at gul sennep reducerede den totale ukrudtsmængde, men resultatet er ikke statistisk sikker (tabel 13). Derimod var der i forsøget i 2011 en statistisk sikker reduktion fra 25 til 16 planter/m² både mellem og i rækkerne. Efter vinterrug lå ukrudtsmængden generelt en anelse lavere end efter bar jord, men forskellen er på nogle ganske få planter/m² og formodentlig uden

praktisk betydning. Det gennemsnitlige antal er i nogle tilfælde relativt kraftigt påvirket af at der i en enkel parcel var 10-30 planter/m² af en art, mens der i de øvrige parceller var ganske få planter (data ikke vist). Det var derfor ikke muligt på grundlag af det foreliggende datamateriale at afgøre, om ukrudtsarterne påvirkes forskelligt af efterafgrøderne.

TABEL 10.

TØRSTOFVÆGT (G/M²) FOR EFTERAFGRØDER VED VÆKSTSÆSONENS AFSLUTNING (NOVEMBER-DECEMBER).

Forsøg Udsæd kg/ha:	Gul sennep		Vinterrug ¹		Olieræddike
	8	20	80	200	20
2011-876	111	134	97	109	
2013-882		136		40	122
2014-883a ²		127		43	108
2014-883b		129		43	121
2014-884a		61		38	65
2014-884b		74		46	70

¹To nedvisningstidspunkter (marts/april) puljet ved høst af efterafgrøde

²To niveauer af stubharvning før efterafgrødeetablering (a=0; b=10 cm dybde)

TABEL 11.

PLANTETAL FOR SUKKERROE VED FULD FREMSPIRING (APRIL-MAJ) VED FORSKELLIGE EFTERAFGRØDER OG NEDVISNINGSTIDSPUNKTER. UDSÆDSMÆNGDEN VAR CIRKA 115.000 FRØ/HA I ALLE FORSØG.

Efterafgrøde	Nedvisning	Planter (1000/ha)				
		2011-876	2013-882*	2013-883**	2014-883	2014-884
Ingen	Marts	104	110	110	106	114
Gul sennep	Marts	98	111	110	103	112
Vinterrug	Marts	97	111	109	102	113
Olieræddike	Marts	.	.	.	104	113
Vinterrug	April	81	107	110	.	.
<i>Isd-værdi</i>		13	3	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

*Kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

**Mekanisk/kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

TABEL 12.

SUKKERROEUDBYTTET VED FORSKELLIGE EFTERAFGRØDER OG NEDVISNINGSTIDSPUNKTER.

Efterafgrøde	Nedvisning	Rodudbytte (t/ha)			Sukker (t/ha)		
		2011-876	2013-882 ¹	2013-883 ²	2011-876	2013-882 ¹	2013-883 ²
Ingen	Marts	90,0	88,2	86,9	14,5	15,7	16,1
Gul sennep	Marts	85,3	88,1	88,1	13,8	15,9	16,4
Vinterrug	Marts	65,3	85,3	80,4	10,6	15,4	15,0
Vinterrug	April	45,1	85,3	82,8	7,4	15,5	15,3
Gul sennep	Pløjning nov.	.	90,2	86,4	.	16,2	15,9
<i>Isd-værdi</i>		14,2	3,3	<i>ns</i>	2,4	<i>ns</i>	<i>ns</i>

¹Kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

²Mekanisk/kemisk bekæmpelse af ukrudt i vækstsæson

Ved strip tillage-dyrkning af sukkerroer, forventes det at der i visse marker kan vise sig nødvendigt med en forudgående relativ kraftig stubharvning til minimum 10 cm dybde for at bekæmpe spildkorn og græsukrudt samt kompensere for færdselsskader. Supplerende forsøg i 2014 med ekstra stubharvning før efterafgrødeetablering havde en tendens til at øge den samlede ukrudtsmængde (tabel 14). I rækken var der tale om en øgning fra 8 til 10 planter/m², og forskellen er næsten statistisk sikker, men formodentlig af lille praktisk betydning. Det var blandt andet mængden af hyrdetaske og snerle-pileurt, som så ud til at øgedes, om end resultatet for hyrdetaske kan skyldes en pletvis forekomst af denne art i det ene af de to forsøg i 2014 (data ikke vist). Supplerende forsøg med to udsædsmængder af hver efterafgrøde viste ingen effekt (tabel 15), men da mængden af efterafgrøde var nogenlunde ens ved de to udsædsmængder (tabel 10), er undersøgelsen ikke velegnet til at drage konklusioner herom.

Vinterrug blev enten nedvisnet med glyphosat før såning eller med et græsmiddel efter fremspiring af afgrøden for at undersøge om et senere nedvisningstidspunkt kan øge den hæmmende effekt på ukrudtsfremspiringen. Effekten må forventes at være størst mellem rækkerne, men samlet set var der kun tale om en reduktion fra 14 til 12 planter/m², og forskellen er ikke statistisk sikker (tabel 16). En opdeling af datamaterialet på de enkelte ukrudtsarter viste ikke nogen klarere effekter (data ikke vist).

Der var generelt ingen forskel på ukrudtsmængden mellem og i rækkerne i nogen af ovennævnte undersøgelser med efterafgrøder. Dette kan enten skyldes, at efterafgrøden ikke har nogen effekt, eller at effekten af efterafgrøden mellem rækkerne er den samme som jordbearbejdningens effekt i rækkerne. En væsentlig faktor er formodentlig, at strip tillage teknikken i disse forsøg har reduceret ukrudtstrykket markant og til et niveau, hvor yderligere tiltag ikke har haft nogen effekt.

TABEL 13.

UKRUDTSFREMSPIRING (PLANTER/M²) VED FORSKELLIGE EFTERAFGRØDER. DER ER SKELNET MELLEM AFGRØDERÆKKEN ("RÆKKE"), HVOR DER ER LAVET SÅBED I 20-25 CM BREDDE OG AREALET MELLEM RÆKKERNE ("MIDT"). "N" ANGIVER ANTALLET AF FORSØG, HVOR UKRUDTSARTEN BLEV OBSERVERET. DER BLEV OPGJORT UKRUDT I FIRE PARCELLER I HVERT FORSØG OG "MAKSIMALT ANTAL" ANGIVER ANTALLET I DEN PARCEL, HVOR DER VAR FLEST UKRUDTSPLANTER AF DEN PÅGÆLDENDE ART. I ALLE TILFÆLDE ER DER ANVENDT GLYPHOSAT FORUD FOR VÆKSTÆSONEN (2-5 UGER FØR SÅNING) TIL NEDVISNING AF EFTERAFGRØDE OG BEKÆMPELSE AF OVERVINTRENDE UKRUDT.

Forsøg	n	Efterafgrøde	Gennemsnit (standardfejl)			Maksimalt antal	
			Række	Midt	I alt	Række	Midt
2011-876	1	Ingen	25 (2)	25 (5)	25 (3)	30	32
		Vinterrug	23 (5)	21 (4)	22 (4)	38	30
		Gul sennep	16 (2)	16 (3)	16 (2)	20	24
2013-882	1	Ingen	8 (6)	13 (9)	9 (7)	24	41
		Vinterrug	3 (2)	6 (3)	4 (2)	10	13
		Gul sennep	5 (3)	8 (5)	6 (3)	11	19
2014-883	1	Ingen	6 (1)	3 (1)	5 (0)	7	7
		Vinterrug	6 (1)	4 (0)	5 (1)	8	4
		Gul sennep	4 (1)	3 (1)	3 (1)	5	5
2014-884	1	Ingen	9 (1)	9 (1)	9 (1)	12	12
		Vinterrug	11 (1)	9 (4)	11 (2)	14	20
		Gul sennep	11 (4)	10 (4)	11 (4)	22	18
I alt	4	Ingen	12 (2)	12 (3)	12 (3)	30	41
		Vinterrug	11 (2)	10 (2)	10 (2)	38	30
		Gul sennep	9 (2)	9 (2)	9 (2)	22	24

TABEL 14.

FREMSPIRING AF UKRUDT (PLANTER/M²) I RELATION TIL STUBHARVNING FORUD FOR ETABLERING AF EFTERAFGRØDE I FORSØG MED SUKKERROER. VÆRDIERNE ER GENNEMSNITTET FRA OPTÆLLINGER I PARCELLER MED HENHOLDSVIS INGEN EFTERAFGRØDE, GUL SENNEP, VINTERRUG OG OLIERÆDDIKE. SE TABEL 13 FOR YDERLIGERE FORKLARING.

Forsøg	n	Stubharvning (ca. 10 cm)	Gennemsnit (standardfejl)			Maksimalt antal	
			Række	Midt	I alt	Række	Midt
2014-883	1	-	5 (1)	4 (1)	5 (0,4)	8	10
		+	6 (1)	4 (1)	5 (1)	11	8
2014-884	1	-	10 (1)	10 (1)	10 (1)	22	20
		+	14 (2)	13 (2)	14 (2)	38	26
I alt	2	-	8 (1)	7 (1)	7 (1)	22	20
		+	10 (1)	8 (1)	9 (1)	38	26

TABEL 15.

FREMSPIRING AF UKRUDT (PLANTER/M²) I RELATION TIL UDSÆDSMÆNGDE AF EFTERAFGRØDE I FORSØG MED SUKKERROER. SE TABEL 13 FOR YDERLIGERE FORKLARING.

Forsøg	n	Efterafgrøde	Gennemsnit (standardfejl)			Maksimalt antal	
			Række	Midt	I alt	Række	Midt
2011-876	1	Rug, 80	23 (5)	21 (4)	22 (4)	38	30
		Rug, 200	24 (4)	36 (5)	30 (4)	32	48
		Gul sennep, 8	16 (2)	16 (3)	16 (2)	20	24
		Gul sennep, 20	14 (3)	18 (5)	16 (3)	22	30

TABEL 16.

FREMSPIRING AF UKRUDT (PLANTER/M²) I RELATION TIL NEDVISNINGSSTRATEGI AF VINTERRUG I FORSØG MED SUKKERROER. SE TABEL 13 FOR YDERLIGERE FORKLARING.

Forsøg	n	Strategi	Gennemsnit (standardfejl)			Maksimalt antal	
			Række	Midt	I alt	Række	Midt
2011-876	1	Ingen, før	25 (2)	25 (5)	25 (3)	30	32
		Rug, før	23 (5)	21 (4)	22 (4)	38	30
		Rug, efter	23 (9)	18 (9)	20 (9)	42	40
2013-882	1	Ingen, før	8 (6)	14 (10)	10 (7)	25	42
		Rug, før	3 (2)	7 (2)	5 (2)	10	13
		Rug, efter	7 (3)	7 (5)	7 (4)	16	24
I alt	2	Ingen, før	16 (4)	19 (5)	17 (4)	30	42
		Rug, før	13 (4)	14 (3)	13 (4)	38	30
		Rug, efter	15 (5)	12 (5)	13 (5)	42	40

Udvikling af "strip tillage" teknik til sukkerroedyrkning

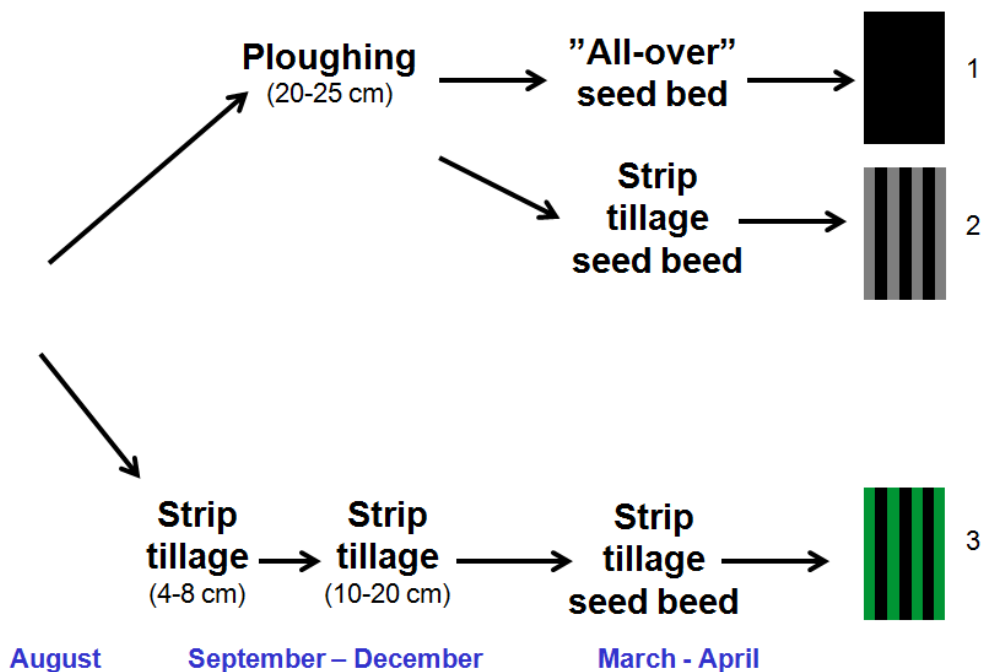
Parallelt med ovenstående undersøgelser af efterafgrøders effekt på ukrudtsfloraen ved strip tillage dyrkning, blev der arbejdet på at forbedre strip tillage-teknikken til sukkerroer. Endvidere er der blevet undersøgt, om ændret såbedstilberedning af efterårsplojet jord kan reducere fremspiringen af ukrudt (figur 1). Disse aktiviteter blev ligeledes finansieret via GUDP. Her vises et uddrag af resultaterne, da de supplerer studierne af efterafgrødernes effekt.

I figur 2 og 3 er resultaterne af ukrudtsoptællingerne fra forsøg udført i årene 2011 til 2014 vist. Den mest markante effekt sås, når både efterårsplojningen og såbedstilberedningen udføres med strip tillage teknik (figur 3). Dette skyldes formodentligt, at man i langt mindre grad bringer spiredygtige ukrudtsfrø til jordoverfladen, når man udelader plojning, og at de frø, der bringes op, går til grunde.

En nærliggende forklaring er, at frøene ødelægges af mikroorganismer eller tjener som føde for insekter, gnavere og fugle, og at frøene i de kommende afgrøderækker yderligere ødelægges gennem jordbearbejdning med strip tillage redskaberne. Nedvisning af efterafgrøden i marts måned har yderligere en reducerende effekt på ukrudtsmængden, men det er primært på overvintrende ukrudt mellem rækkerne, da ukrudtet i rækkerne under alle omstændigheder bekæmpes ved såbedstilberedningen.

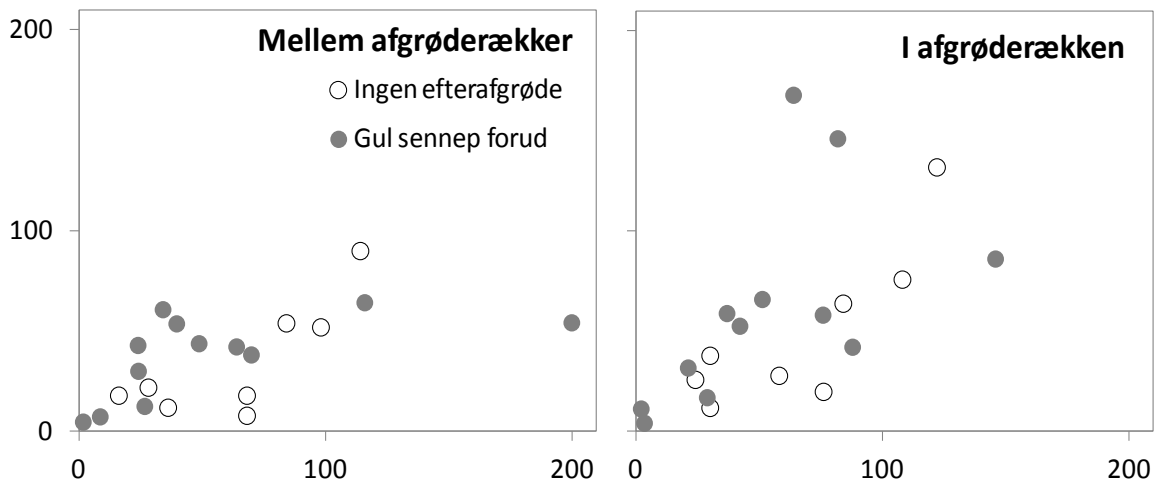
Ved optælling af ukrudt i pløjejord med strip tillage-baseret såbedsharvning blev det observeret, at ukrudtet – specielt burresnerre – havde en tydelig klumpvis fordeling, hvorimod den almindelige såbedstilberedning havde forårsaget en spredning af frøene.

Et centralt spørgsmål er, om den observerede reduktion i ukrudtstrykket ved strip tillage-teknikken kan anvendes til at nedbringe herbicidforbruget. Dette blev indledningsvis undersøgt i GUDP projektet ved at anvende reducerede doser samt radrensning og båndsprøjtning i stedet for bredsprøjtning og vil blive publiceret i forbindelse med afrapporteringen af dette projekt.

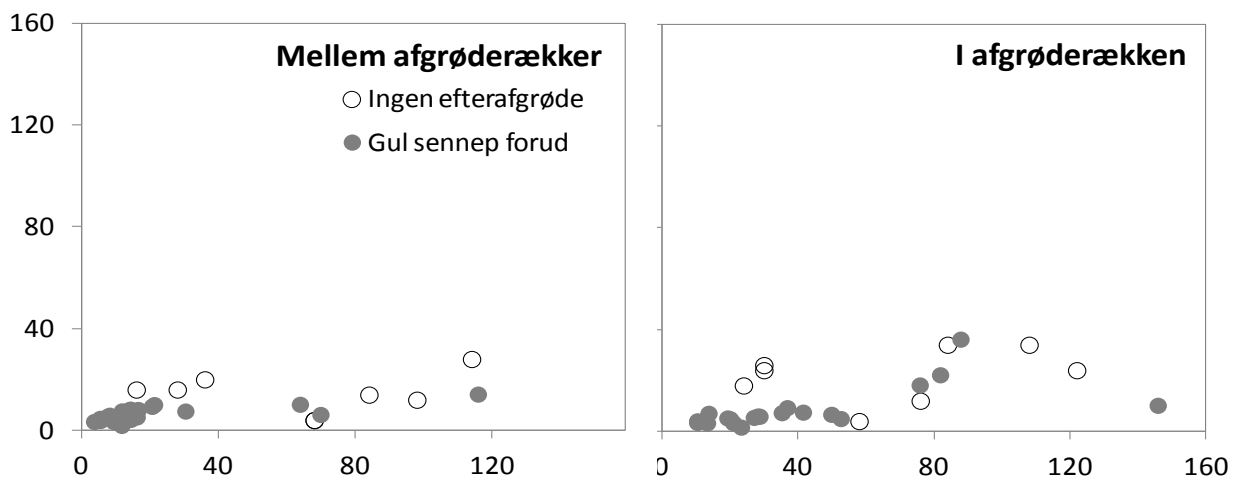


FIGUR 1.

I ET GUDP PROJEKT UNDERSØGTES JORDBEARBEJDNINGENS EFFEKT PÅ UKRUDTSFLORAEN. HER SAMMENLIGNEDES TRADITIONELT SÅBED (1), STRIP TILLAGE SÅBED I KOMBINATION MED TRADITIONEL JORDBEARBEJDNING (2) OG STRIP TILLAGE SÅBED I KOMBINATION MED EFTERAFGRØDER (3).



FIGUR 2. ANTAL UKRUDTSPLANTER (PLANTER/M²) I FORSØG, SOM SAMMENLIGNER TRADITIONELT SÅBED (1 I FIGUR 1) (X-AKSEN) MED STRIP TILLAGE SÅBED (2 I FIGUR 1), HVOR DER KUN HARVES I DE KOMMENDE AFGRØDERÆKKER (Y-AKSEN). HVERT PUNKT ER EN PARVIS SAMMENLIGNING AF DE TO DYRKNINGSFORMER INDENFOR HVER FORSØGSBLOK.



FIGUR 3. ANTAL UKRUDTSPLANTER (PLANTER/M²) I FORSØG, SOM SAMMENLIGNER TRADITIONEL (1 I FIGUR 1) (X-AKSEN) OG STRIP TILLAGE DYRKNING (3 I FIGUR 1) (Y-AKSEN). HVERT PUNKT ER EN PARVIS SAMMENLIGNING AF DE TO DYRKNINGSFORMER INDENFOR HVER FORSØGSBLOK.



FIGUR 4.

TIL 2015 ER DER ANLAGT NYE FORSØG MED STRIP TILLAGE TEKNIKKEN. HER (12-09-2014) ER JORDEN NETOP BEARBEJDET ANDEN GANG. NÆSTE BEARBEJDNING SKER TIL FORÅRET I FORM AF SÅBEDSTILBEREDNING AF DEN BEARBEJDEDE STRIBE. EFTERAFGRØDEN MELLEM RÆKKERNE ER GUL SENNEP SÅET 9. AUGUST.

Diskussion

I projektet blev effekten af henholdsvis en mellemafgrøde af olieræddike og efterafgrøder af gul sennep og vinterrug på fremspiring og vækst af ukrudt i en efterfølgende afgrøde undersøgt. I Danmark har der ikke været meget fokus på ukrudtseffekten af mellem- og efterafgrøder, da mellem- og efterafgrøder udelukkende dyrkes for at opfylde kravene til arealet med vinterafgrøder med henblik på at mindske udvaskningen af kvælstof fra rodzonen. I udlandet er situationen anderledes, idet effekter på ukrudt samt forebyggelse af jorderosion har været de vigtigste årsager til at dyrke efterafgrøder.

Mellemafgrøder dyrkes forud for såning af vintersæd til opsamling af kvælstof. For at sikre en tilstrækkelig effekt af mellemafgrøder, er det nødvendigt at så mellemafgrøden før høst af den forudgående afgrøde, hvilket er en usikker etableringsform i forhold til almindelig såning. Hvis høsten forsinkes på grund af regn, kan mellemafgrøden vokse op i afgrøden og forårsage høstproblemer. Som mellemafgrøder har der været mest fokus på olieræddike på grund af dens hurtige vækst i sensommeren og efteråret. Alternative mellemafgrøder er foderradis, gul sennep og vinterraps. Da mellemafgrøder dyrkes forud for vintersæd er det som regel nødvendigt at nedmulde mellemafgrøden før såning af vintersædsafgrøden.

Efterafgrøder dyrkes forud for vårafgrøder, og som for mellemafgrøders vedkommende er formålet at opsamle kvælstof og dermed mindske udvaskningen af kvælstof fra rodzonen. Som efterafgrøde har der i Danmark især været interesse for at anvende gul sennep, da denne art normalt ikke overlever en dansk vinter, det vil sige, at der ikke er behov for at afbryde væksten mekanisk eller kemisk i foråret, og nedmuldning af det døde plantemateriale er lettere end af en afgrøde, hvis vækst først afbrydes umiddelbart før nedmuldning. Omvendt vil en afgrøde, der vokser indtil det tidlige forår, potentielt kunne optage mere kvælstof. Som overvintrende afgrøder har interessen samlet sig om vinterraps og vinterrug. Det er muligt at efterlade plantemassen af en efterafgrøde på jordoverfladen, når den efterfølgende afgrøde er en rækkeafgrøde, og senere års forsøg med især vinterrug har vist, at denne strategi har været mere effektiv end at indarbejde plantemassen (se

”State of the art”). I dette projekt er der netop fokus på denne strategi i kombination med dyrkningskonceptet ”strip tillage”.

Forsøgene med en mellemafgrøde af olieræddike dokumenterede, at etableringen af mellemafgrøden kan være vanskelig. For at en mellemafgrøde kan godkendes af myndighederne som alternativ til efterafgrøde, skal der være et plantetal på minimum 50 planter/m². Som det fremgår af tabel 3, lykkedes dette ikke i alle tilfælde. Ved det seneste nedmuldningstidspunkt var mængden af tørstof i størrelsesordenen 7 hkg/ha, hvilket var betydeligt mindre end de op til 25 hkg tørstof/ha, der blev målt i forsøg udført ved Videncentret for Landbrug i 2011, hvor olieræddike blev sået omkring d. 20. juli og nedmuldet d. 19. september (Anon, 2011). Det er sandsynligt, at den senere såning og lave nedbørsmængder i den første del af vækstperioden (7,0 mm fra høst til første nedmuldningstidspunkt og 5,9 mm fra første til andet nedmuldningstidspunkt) var årsagen til den lave tørstofproduktion. Havde det været muligt, som planlagt, at udføre de to forsøg over to vækstsæsoner, havde det måske været muligt at drage mere generelle konklusioner.

I dyrkningsforsøgene med udvalgte ukrudtsarter og vinterhvede i uforstyrrede jordprøver udtaget 15, 31 og 59 dage efter høst af vårbyg blev der fundet få statistisk signifikante forskelle mellem jordprøver fra forsøgsleddene, hvor der var nedmuldet olieræddike, og hvor der ikke blev dyrket en mellemafgrøde (tabel 4). I enkelte tilfælde var væksten i jordprøverne med nedmuldet olieræddike signifikante højere end uden mellemafgrøde, hvilket understreger, at effekterne på spiring og vækst af ukrudt var marginale. Dette blev også bekræftet af optællingerne af ukrudtsplanter i markparcellerne, selv om det skal understreges, at fremspiringen generelt var så lav, at det ville have været svært at eftervise signifikante effekter af olieræddike (tabel 5).

I et tidligere Miljøstyrelsesprojekt, hvor der bl.a. blev dyrket to sorter af vinterraps, blev der målt en tørstofproduktion på 36 til 103 g/ha (Kudsk *et al.*, 2013). I dette forsøg blev der ligeledes ikke fundet statistisk sikre effekter på fremspiring og vækst af en række ukrudtsarter efter nedmuldning i foråret, og med resultaterne fra de to projekter, kan det konkluderes, at effekten på ukrudt af nedmuldede mellem- og efterafgrøder af korsblomstrede afgrøder er marginal og sandsynligvis uden praktisk betydning under danske forhold. Den mest sandsynlige forklaring på den manglende effekt, som er i modstrid med en række udenlandske undersøgelser, er, at biomasseproduktionen under vores nordlige himmelstrøg er for lille til at mængden af allelokemiske stoffer i jorden når den koncentration, som er nødvendig for at opnå effekter på ukrudtet. Det kan dog ikke udelukkes, at en lavere koncentration af allelokemiske stoffer i planterne, eller at mellem- og efterafgrødernes udviklingstrin på nedmuldningstidspunktet ikke er optimalt i forhold til koncentrationen af allelokemiske stoffer. I en række af de forsøg, der er udført i USA blev efterafgrøderne nedmuldet på et senere udviklingstrin end i de danske forsøg, da en række vårafgrøder først sås i maj eller tidligt i juni. I Danmark er det nødvendigt at maksimere vækstsæsonens længde for at maksimere udbyttet af hovedafgrøden, hvilket betyder, at vækstperioden for både mellem- og efterafgrøder er kort. Som tilfældet var for olieræddike var tilvæksten af gul sennep og vinterrug i løbet af efteråret ikke særlig stor hverken i 2010 eller 2012, hvilket skyldtes en lidt sen såning og lave nedbørsmængder (tabel 6). I det tidligere Miljøstyrelsesprojekt producerede to vinterrugsorter henholdsvis 45,6 og 62,5 g tørstof/m² i det ene forsøgsår, mens biomassen i det andet forsøgsår var sammenlignelig med biomasserne i nærværende forsøg (Kudsk *et al.*, 2013). I det tidligere Miljøstyrelsesprojekt blev biomassen målt i det tidlige forår og ikke i efteråret umiddelbart før den første frost, hvilket for vinterrugs vedkommende kan være en medvirkende årsag til den lavere biomasse i dette forsøg. Tilsvarende var gul senneps biomasseproduktion lavere end biomassen af vinterraps i det tidligere Miljøstyrelsesprojekt, hvilket var forventelig, da væksten af gul sennep modsat vinterraps stopper efter den første nattefrost.

På trods af at plantematerialet ved strip tillage efterlades på jordoverfladen efter nedvisning, blev der kun observeret få signifikante effekter i spiringsforsøgene. Som med olieræddike var der blandt de signifikante udslag både nogle, hvor spiring og vækst var hæmmet af efterafgrøden, samt nogle

hvor spiring og vækst blev fremmet af efterafgrøden. Konklusionen på de to forsøg er derfor, at dyrkning af efterafgrøder af gul sennep og vinterrug, som efterlades på jordoverfladen efter nedvisning, ikke hæmmede spiringen og væksten af spiredygtige frø af i alt 5 forskellige ukrudtsarter. I betragtning af at efterafgrøderne producerede forholdsvis lave mængder biomasse var det forventelig, at mængden af allelokemiske stoffer ville være utilstrækkelig til at fremkalde en effekt på spiring af vækst af ukrudtsplanterne. Derimod var det forventet, at den fysiske effekt af at efterlade plantematerialet på jordoverfladen eventuelt i kombination med en svag allelopatisk effekt af afgrøderne ville have resulteret i en hæmning af ukrudtet. En medvirkende faktor til, at det ikke var tilfældet, er sandsynligvis, at mængden af biomasse ikke gav tilstrækkelig skyggeeffekt til at hæmme spiring og vækst.

I markforsøgene blev der i alle forsøgsår observeret en mindre fremspiring af ukrudt i de forsøgsled, hvor der blev praktiseret strip tillage, hvad enten der var sået en efterafgrøde af gul sennep, eller der ikke var sået en efterafgrøde (figur 3). Resultaterne tyder således ikke på, at efterafgrøden i sig selv har nogen nævneværdig effekt, hvilket understøtter resultaterne fra forsøgene med intakte jordprøver. En nærliggende forklaring på de observerede effekter i markforsøg er, at der imellem rækkerne ikke er foretaget nogen jordbearbejdning efter etablering af efterafgrøden, hvilket også understøttes af, at effekten af strip tillage var mindre, hvor strip tillage blev praktiseret på efterårspløjet jord. Ved at efterlade uberørt undgås den spiring af ukrudtsfrø, som en jordbearbejdning altid vil medføre. Hvor der er praktiseret "strip tillage" har ukrudtsfrø produceret året før ligget på jordoverfladen hele vinteren, hvilket sandsynligvis har resulteret i en høj mortalitet som følge af prædation, svampeangreb etc, hvilket også mindsker ukrudtstrykket. Hvor det lykkes at nedvisne efterafgrøden er der ikke observeret udbytteforskelle i sukkerroerne mellem konventionel dyrkning og strip tillage. I et af forsøgene, hvor nedvisningen af vinterrug var mangelfuld, blev der fundet signifikante udbyttenedgange. Målinger af jordtemperaturen i 10 cm's dybde viste op til 0,4°C lavere temperatur ved strip tillage. Da udbyttet i en vegetativ afgrøde som sukkerroer afhænger af vækstsæsonens længde, kan en langsommere fremspiring forårsaget af en lavere jordtemperatur potentielt reducere udbyttet af afgrøden, men det var ikke tilfældet i de gennemførte forsøg.

Sammenfattende kan det konkluderes, at der generelt ikke er fundet direkte effekter af hverken en mellemafgrøde af olieræddike eller en efterafgrøde af gul sennep, vinterrug eller olieræddike på spiring og vækst af ukrudtsarter. Derimod har strip tillage teknikken, som har været undersøgt i kombination med efterafgrøder, resulteret i en reduceret ukrudtsfremspiring i marken, hvilket primært kunne tilskrives, at jorden imellem rækkerne ikke bearbejdes hverken i efteråret eller foråret. Efterafgrøder i kombination med strip tillage vurderes at være en teknik, som kan være interessant i rækkeafgrøder, hvor der er et ønske om at kombinere kvælstofopsamling med en reduktion i herbicidanvendelsen, men yderligere undersøgelser er nødvendige for at dokumentere dette systems fordele og risici. Effekten overfor ukrudtet vil sandsynligvis kunne forøges, hvis det er muligt at øge biomasseproduktionen af efterafgrøden via valg af art/sort eller ved såning før høst af den forudgående afgrøde.

Referencer

- Al-Khatib K & Boydston RA. (1999). Weed control with *Brassica* green manure crops. I: Allelopathy Update, Volume 2, Basic and Applied Aspects (ed. S.S. Narwal), pp. 255-270.
- Anon. (2011). Forsøg med arter og sorter af korsblomstrede mellem- og efterafgrøder 2011. Videncentret for Landbrug, 19p.
- Barnes JP & Putnam AR. (1983). Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology*, 9, 1045-1057.
- Bottenberg H, Masiuanas J, Eastman C & Eastburn DM. (1997). The impact of rye cover crops on weeds, insects, and diseases in snap bean cropping systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 9, 131-155.

Boydston RA & Hang A. (1995). Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*). *Weed Technology*, 9, 669-675.

Boydston RA & Vaughn SF. (2002). Alternative weed management systems control weeds in potato (*Solanum tuberosum*). *Weed Technology*, 16, 23-28.

Creamer NG, Bennett MA, Strinner BR, Cardina J & Regnier EE. (1996). Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *Horticultural Science*, 31, 410-413.

Giamoustaris A & Mithen R. (1995). The effect of modifying the glucosinolate content of leaves of oilseed rape (*Brassica-napus ssp oleifera*) on its interaction with specialist and generalist pests. *Annals of Applied Biology*, 75, 472-484.

Grodzinsky AM. (1992). I: Allelopathy: Basic and Applied Aspects (eds. S.J.H. Rizvi, V. Rizvi), Chapman & Hall Press, 77-85.

Haramoto ER & Gallandt ER. (2004). Brassica cover cropping for weed management: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 19, 187-198.

Haramoto ER & Gallandt ER. (2005a). Brassica cover cropping: I. Effects on weeds and crop establishment. *Weed Science*, 53, 695-701.

Haramoto ER & Gallandt ER. (2005b). Brassica cover cropping: II. Effects on growth and interference of green bean (*Phaseolus vulgaris*) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Weed Science*, 53, 702-708.

Kruidhof HM, Bastiaans L & Kropff M. (2008). Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. *Weed Research*, 48, 492-502.

Kruidhof HM, Gallandt ER, Haramoto ER & Bastiaans L. (2011). Selective weed suppression by cover crop residues: effects of seed mass and timing of species' sensitivity. *Weed Research*, 51, 177-186.

Kudsk P, Fomsgaard I, Holst N., Mathiassen SK & Sørensen JC. (2013). Efterafgrøder af vinterraps og vinterrug – allelokemiske stoffer af ukrudtseffekt. *Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen nr. 142*. 59p.

Liebman M & Davis AS. (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Proceedings of the 11th EWRS Symposium*, 27-47.

Masunias JB. (1999). Production of vegetables using cover crops and living mulches. *Journal of Vegetable Production*, 4, 11-31.

Mithen R. (2001). Glucosinolates – biochemistry, genetics and biological activity. *Plant Growth Regulation*, 34, 91-103.

Petersen J, Belz R, Walker F & Hurle K. (2001). Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agronomy Journal*, 93, 37-43.

Putnam AR. (1986). Allelopathy: Can it be managed to benefit horticulture? *Horticultural Science*, 21, 411-412.

Sarrantonio M & Gallandt ER. (2003). The role of cover crops in North American cropping systems. *Journal of Crop Production*, 8, 53-73.

Sarwar M & Kirkegaard JA. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil*, 201, 91-1001.

Schulz M, Marocco A, Tabaglio V, Macias FA & Molinillo JMG. (2013). Benzoxazinoids in rye allelopathy - From discovery to application in sustainable weed control and organic farming. *Journal of Chemical Ecology*, 39, 154-174.

Shilling DG, Hilling DG, Liebl RA & Worsham AD. (1985). Rye (*Secale cereale* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) mulch – The suppression of certain broadleaved weeds and their isolation and identification of phytotoxins. *ACS Symposium Series*, 268, 243-271.

Teasdale JR, Rice CP, Guimei C & Mangun RW. (2012). Expression of allelopathy in the soil environment: soil concentration and activity of benzoxazinoid compounds released by rye cover crop residue. *Plant Ecology*, 12, 1893-1905.

Bilag 5: Delrapport AP5 – Fremspiring

Poul Henning Pedersen, Videncentret for Landbrug

Indledning

I vintersæd er det almindelig praksis at udføre ukrudtsbekæmpelse om efteråret og supplere med en behandling om foråret. En del af sprøjtningerne om foråret vurderes ikke at være rentable eller nødvendige for at undgå opformering af ukrudt, og kunne undgås, hvis der var bedre muligheder for at monitere ukrudtsbestanden forud for behandling. På grund af bl.a. travlhed i foråret er det de færreste landmænd, som på mark- eller delmarkniveau monitorer for ukrudt forud for ukrudtssprøjtningen. Hvis det var muligt at vurdere behovet for sprøjtning i en længere periode før behandlingen skal gennemføres, vil det give flere muligheder for at kunne nå at monitere, og dermed mulighed for at træffe beslutningen, om der skal sprøjtes eller ej, på baggrund af observeret forekomst af ukrudtet i marken. Der er etableret markforsøg med det formål at undersøge dynamikken af tokimbladet ukrudt monitoreret gennem vækstsæsonen med henblik på at kunne give praktiske anvisninger på, hvor tidligt ukrudtsmonitoring kan foretages.

Arbejdshypotese: Monitorering af tokimbladet ukrudt i vintersæd i det tidlige forår (før vækststart) kan beskrive bekæmpelsesbehovet senere i vækstsæsonen, hvor det er optimalt at bekæmpe ukrudtet, og dermed gøre det lettere at anvende skadetærskler.

Materialer og metode

Der er i efteråret i henholdsvis 2010 og 2011 udvalgt 12 forskellige vintersædsmarker på forskellige jordtyper og lokaliteter. I hver mark blev der afsat 4 sprøjtevinduer (ikke sprøjtede arealer) på 10 x 10 m, dvs. i alt 48 sprøjtevinduer pr. vækstsæson. I hver sprøjtevindue er der det følgende forår afsat 4 x 1 m² som optællingsfelter, der er anvendt ved optælling af ukrudt ved alle bedømmelser. Fem gange gennem vækstsæsonen fra vinterens afslutning og frem til maj er der monitoreret tokimbladede arters antal og udviklingstrin i sprøjtevinduerne. Optællingen var planlagt til at starte i februar, men på grund af snedække var det i 2011 mange steder først aktuelt at starte i marts, således at optællingsperioden blev forskudt. I 2012 startede optællingen i februar.

Udvælgelsen af markerne, afsætningen af sprøjtevinduerne og monitoreringen er foretaget af lokale konsulenter i Dansk Landbrugsrådgivning i samarbejde med Videncentret for Landbrug. Forsøgsplanen er oprettet i Nordic Field Trial System (NFTS) og alle registreringer indberettet hertil. Data er udtrukket og leveret til Aarhus Universitetet, som har foretaget analyserne. Efter første år blev vi opmærksom på, at det måske kunne være nyttigt at have alle registreringerne fra tællefladerne, og ikke alene parcelresultatet. Derfor er der forskel i datasættet for de to år. Der har dog ikke været brug for benytte data på tællefladeniveau.

For hver forsøgsmark er der fremskaffet vejrdata fra den nærmest liggende vejstation. Den daglige gennemsnitstemperatur blev anvendt til at beregne den akkumulerede temperatursum over en givet tærskelværdi (T_0 ; °C).

Analysen af ukrudtets fremspiring udførtes som to separate analyser, en for hvert år 2011 og 2012. For hver mark blev den samlede fremspiring på hver dato beregnet som summen af fremspiringen i alle prøvefelterne. Ukrudtsarter, som blot var observeret en eller to gange i marken i løbet af forsøgsperioden, blev sorteret fra inden den videre analyse. Dernæst beregnedes for hver art i hver mark en akkumuleret fremspiringskurve, som blev skaleret til 100 %.

Fremspiringen af hver ukrudtsart blev til sidst opsummeret med en S-formet kurve (en Weibull-funktion) som funktion af graddagssummen. Alle markerne blev slået sammen for at estimere denne kurve, som således inddrog den geografiske variation i ukrudtets fremspiring, korrigeret for lokale vejrforhold via den lokalt beregnede graddagssum (Wang, 1960) baseret på den daglige gennemsnitstemperatur i 2 m højde. Nedre tærskelværdier for temperaturen (T_0) i intervallet -2.0

til 5.0°C blev testet i trin på 0.1°C for at finde den værdi, som gav den mest præcise opsummering af observationerne.

Fremspiringskurven blev estimeret ved anvendelse af *R*, programpakken *drc* (Rits & Streibig, 2011) ved brug af funktionen *drm* med parametereindstillingen *fct=W1.3u*. Dette svarer til Weibull-funktion:

$$s(DD) = s_{vinter} + (1 - s_{vinter}) \exp \left\{ - \exp \left[b(\ln(DD) - \ln(s_{50})) \right] \right\}$$

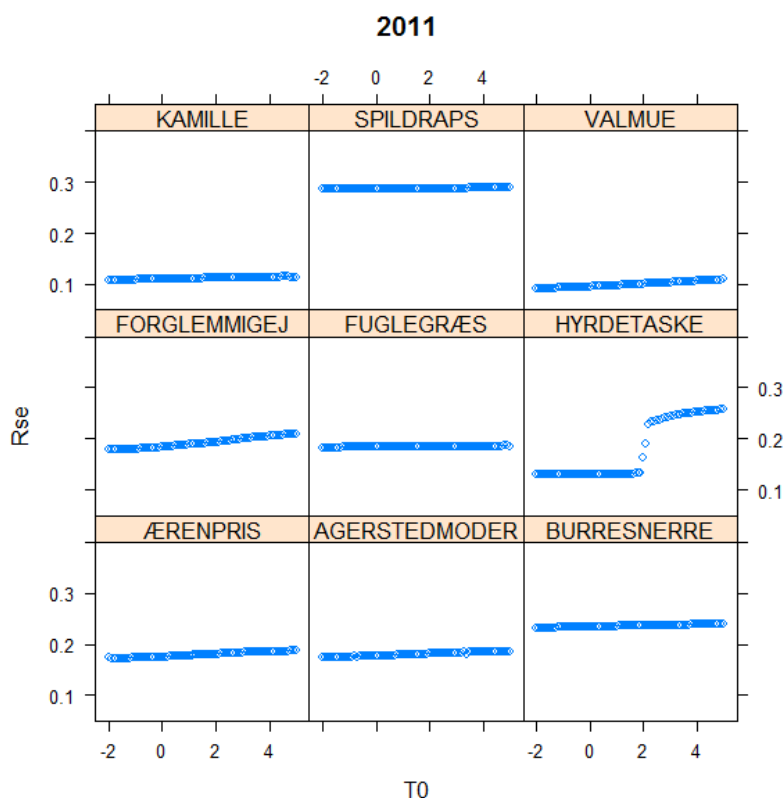
hvor

- $s(DD)$ er den relative fremspiring DD graddage efter den 1. januar (med $T_0=0$ °C);
- b er kurvens hældning;
- s_{vinter} er vinterfremspiringen fra såning og frem til den 1. januar;
- s_{50} er antal graddage efter den 1. januar og frem til 50 % fremspiring.

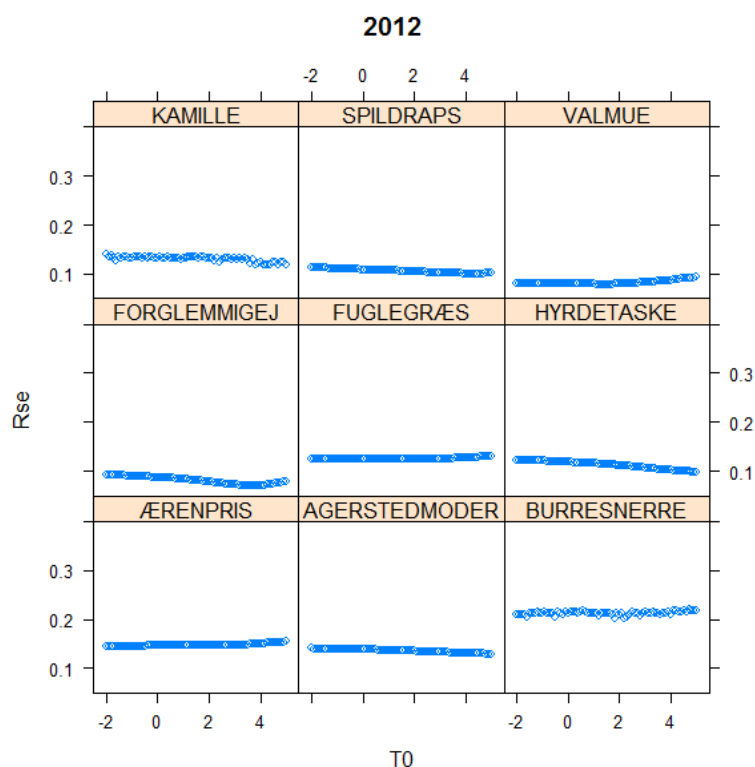
Weibull-funktionen er almindeligt brugt til at beskrive planters fremspiringsforløb (f.eks. Martinson *et al.*, 2007). Som udtryk for, hvor godt kurven passede til data, anvendtes den statistiske parameter *RSE* (residual square error). *RSE* anvendtes til at vælge den bedste T_0 -værdi for hver ukrudtsart.

Resultater

I begge år fandtes de samme ni ukrudtsarter i tilstrækkeligt omfang til at foretage en analyse af fremspiringen. Valget af T_0 havde ingen større betydning for den statistiske model, bortset fra hyrdetaske i 2011, hvor værdier over 2°C gav en markant dårlige model (figur 1 og 2). Da der således ikke var nogen grund til at vælge forskellige T_0 -værdier for ukrudtsarterne, sættes $T_0=0$ °C for alle arter i de videre beregninger.



FIGUR 1. RSE-VÆRDI FOR FORSKELLIGE VÆRDIER AF NEDRE TÆRSKELVÆRDI FOR FREMSPIRING (T_0 , °C) FOR NI UKRUDTSARTER I 2011. JO LÅVERE RSE-VÆRDI JO BEDRE VAR DEN STATISTISKE BESKRIVELSE AF OBSERVATIONERNE.

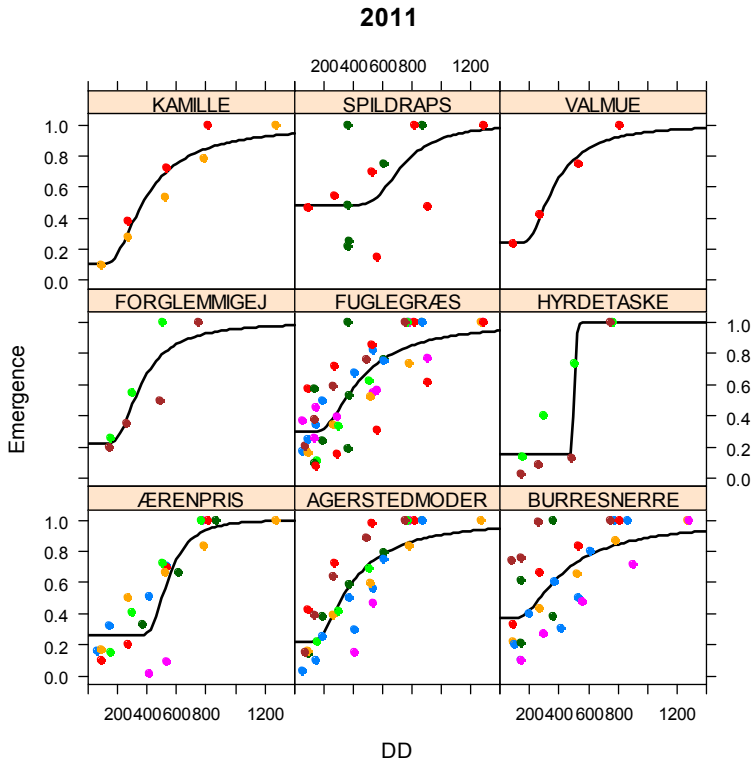


FIGUR 2.
RSE-VÆRDI FOR FORSKELLIGE VÆRDIER AF NEDRE TÆRSKELVÆRDI FOR FREMSPIRING (T_0 , °C) FOR NI UKRUDTSARTER I 2012. JO LAVERE RSE-VÆRDI JO BEDRE VAR DEN STATISTISKE BESKRIVELSE AF OBSERVATIONERNE.

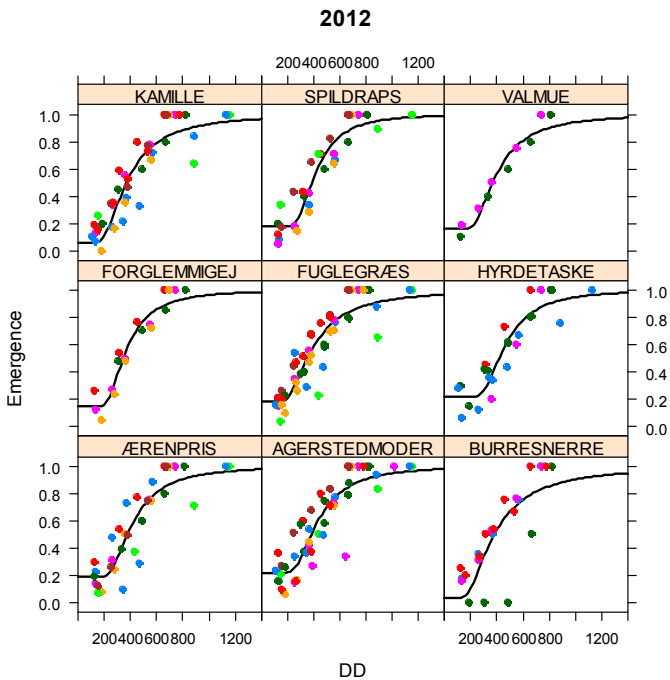
TABEL 1.
PARAMETERESTIMATER (\pm STANDARD ERROR) FOR WEIBULL-FUNKTIONENS TRE PARAMETRE (b , S_{VINTER} , S_{50}) I 2011 OG 2012. b : HÆLDNING; S_{VINTER} : VINTERFREMSPIRING (INDEN DEN 1. JANUAR); S_{50} : GRADDAGE EFTER DEN 1. JANUAR INDTIL 50 % FREMSPIRING; NA = UBESTEMMELIG VÆRDI.

Ukrudtsart	2011			2012		
	b	S_{vinter}	S_{50}	b	S_{vinter}	S_{50}
Ærenpris	-5.42 \pm 2.05	0.26 \pm 0.06	511 \pm 31	-2.29 \pm 0.44	0.10 \pm 0.07	309 \pm 32
Agerstedmoder	-1.85 \pm 0.52	0.22 \pm 0.08	329 \pm 64	-2.78 \pm 0.46	0.22 \pm 0.05	384 \pm 27
Burresnerre	-1.59 \pm 0.66	0.37 \pm 0.09	363 \pm 106	-1.18 \pm NA	0.00 \pm NA	210 \pm NA
Forglemmigej	-2.49 \pm 1.29	0.23 \pm 0.13	314 \pm 69	-2.85 \pm 0.38	0.15 \pm 0.05	328 \pm 19
Fuglegræs	-1.97 \pm 0.51	0.30 \pm 0.05	385 \pm 53	-2.27 \pm 0.31	0.19 \pm 0.04	342 \pm 25
Hyrdetaske	-68.1 \pm 68.4	0.15 \pm 0.06	502 \pm 7.6	-3.11 \pm 0.67	0.22 \pm 0.06	419 \pm 36
Kamille	-1.90 \pm 0.45	0.11 \pm 0.11	334 \pm 60	-2.26 \pm 0.37	0.06 \pm 0.05	327 \pm 27
Spildraps	-4.35 \pm 4.84	0.49 \pm 0.11	682 \pm 149	-3.15 \pm 0.71	0.22 \pm 0.06	360 \pm 27
Valmue	-2.42 \pm 0.81	0.24 \pm 0.1	324 \pm 57	-2.55 \pm 0.47	0.16 \pm 0.06	355 \pm 31

Fremspiringsmodellen gav generelt en mere præcis beskrivelse af arternes fremspiring i 2012 end i 2011. Dette fremgår af lavere RSE-værdier i 2012 for mange arter (figur 1 og 2) og af datas spredning omkring de estimerede fremspiringskurver (figur 3 og 4). Der var nogen variation i vinterfremspiringen mellem årene, bedømt ud fra parameterestimerne (tabel 1). En forklaring af årsagerne til denne variation vil kræve yderligere empirisk arbejde til afklaring af jordbundklimatiske forhold, herunder jordtemperatur og jordfugt.



FIGUR 3.
OBSERVERET FREMSPIRING (PUNKTER, HVER MARK SIN FARVE) OG STATISTISKE BESKRIVELSE VED WEIBULL-KURVE FOR 2011.



FIGUR 4.
OBSERVERET FREMSPIRING (PUNKTER, HVER MARK SIN FARVE) OG STATISTISKE BESKRIVELSE VED WEIBULL-KURVE FOR 2012.

Fremspiring af de sommerannuelle arter som vejpileurt og snerlepileurt kunne ikke beskrives med modellen. I begge år blev der observeret en stor spredning i fremspiringen. I 2011 blev der monitoreret snerlepileurt på 7 af de 12 lokaliteter med en spredning fra 31. marts til 23. maj, mens der i 2012 blev monitoreret snerlepileurt på 6 af 12 lokaliteter med en spredning fra 24. april til 13. juni. Vejpileurt blev tilsvarende monitoreret på 7 lokaliteter fra 7. april til 11. maj i 2011 og på 4 lokaliteter fra 8. april til 29. april i 2012.

TABEL 2.
SAMMENHÆNG MELLEM DATO OG GRADDAGE VED NORMALKLIMA.

Dato	Graddage
1. januar	0
15. januar	0
1. februar	0
15. februar	0
1. marts	2
15. marts	18
1. april	66
15. april	135
1. maj	251
15. maj	384
1. juni	585
15. juni	779
1. juli	1023

Konklusion

Der er for alle arter af tokimbladet ukrudt fundet en betydelig dynamik i fremspiringen af ukrudt i løbet af perioden fra februar til først i juni. For ni vinterannuelle arter har det været muligt at beskrive fremspiringskurver, der dækker hele perioden. På flere arealer blev der observeret sen fremspiring af de sommerannuelle arter vejpileurt og snerlepileurt. Resultaterne viser, at der for tidligt spirende arter vil kunne opnås en god beskrivelse af den ukrudtsbestand, som skal bekæmpes, såfremt den fremskrives med potentiel fremspiring frem til sprøjtetidspunktet. Det vil være nødvendigt at supplere en tidlig monitorering med senere monitorering af sent fremspirende arter som vej pileurt og snerlepileurt.

Perspektivering

Sammenhængen mellem forekomsten af vinterannuelle tokimbladede ukrudtsarter i det tidlige forår og senere i sæsonen kan anvendes til beslutning om middelvalg til bekæmpelse af disse ved behandling i april og frem til medio maj. Forsøgene i dette projekt viser, at der uanset hvornår monitoreringen udføres, skal forventes og estimeres en yderligere fremspiring. Sent fremspiret ukrudt af de vinterannuelle arter vil i veludviklede afgrøder ikke have betydning, mens de kan nå at udvikle sig til konkurrecedygtige planter i åbne og tynde afgrøder. Dog vil arternes vækstform have betydning, eksempelvis kan burresnerre og den sommerannuelle art snerlepileurt klatre op i afgrøden og derved klare sig i konkurrence med afgrøden.

Resultaterne vil kunne anvendes på følgende måde:

- Ved monitorering i februar og marts kan artsbestemmelse af vinterannuelle arter bruges til at tage beslutning om middelvalg mod disse. På sprøjtetidspunktet bestemmes dosis ud fra en hurtig observation af størrelsen af de største ukrudtsplanter. Ukrudtsplanter af disse arter, som er spiret senere frem, vil på grund af større følsomhed også blive bekæmpet. Hvis det konkluderes, at der ikke er behov for bekæmpelse af vinterannuelle

tokimbladede ukrudtsarter, kan man vente med at vurdere behovet for bekæmpelse til sommerannuelle arter er spiret frem.

- Ved monitoring i løbet af april umiddelbart før eventuel sprøjtning kan bestemmelse af vinterannuelle arter og deres størrelse umiddelbart anvendes til beslutning om middelvalg og dosis, idet senere fremspiret ukrudt i veletablerede afgrøder ikke vil få betydning.
- Burresnerre kræver særlige hensyn. Sent fremspiret burresnerre i åbne afgrøder vil nå en udvikling inden høst, der betinger bekæmpelse helt hen til begyndelsen af maj.
- Sommerannuelle arter som eksempelvis snerlepileurt vil kræve en særlig monitoring.

Det er første gang i Danmark, at ukrudtsforekomst og -fremspiring er fulgt i samme optællingsfelter med korte intervaller gennem hele forårssæsonen. Det har været overraskende, at der sker så stor en fremspiring af vinterannuelle arter i løbet af marts og april. Forsøgene har givet en ny viden om udfordringerne ved at skulle monitere ukrudt i vintersæd om foråret. Denne viden vil være nyttig ved design af teknologiske løsninger, hvor eksempelvis kameraer og billedbehandling skal anvendes til monitoringsopgaven og efterfølgende omsættes til beslutningsalgoritmer.

Det skal også nævnes, at græsukrudt, som ikke har været genstand for undersøgelse i dette projekt, ofte kræver bekæmpelse. I landsforsøgene er det i talrige forsøg vist, at en tidlig forårsbekæmpelse af græsukrudt er optimal. Græsukrudt kan derfor monitoreres tidligt i foråret.

Referencer

- Martinson K, Durgan B, Forcella F, Wiersma J, Spokas K & Archer D. (2007). An emergence model for wild oat (*Avena fatua*). *Weed Science* 55: 584-591.
- Ritz C & Streibig JC. (2005). Bioassay analysis using R. *J Stat Softw* 12(5).
- Wang JY. (1960). A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41: 785-90.

Bilag 6: Delrapport AP6 - Effekter af direkte metoder til ikke-kemisk bekæmpelse af frøkrudt i landbrugsafgrøder

Bo Melander, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Indledning

Ikke-kemiske metoder til ukrudtsbekæmpelse fik fornyet interesse, da Folketinget i midten af 1980'erne vedtog den første Pesticidhandlingsplan til begrænsning af pesticidforbruget. I forbindelse med handlingsplanen blev der også afsat forskningsmidler til udvikling af ikke-kemiske metoder. Denne forskning har siden slutningen af firserne foregået med forskelligt omfang afhængig af forskningspakkernes fokus og økonomiske omfang. Indsatsen har været rettet mod metoder til anvendelse i de store landbrugsafgrøder såvel som frilandsgrønsager (Melander *et al.*, 2005). Stigningen i det økologiske areal op gennem 1990'erne forstærkede forskningsindsatsen, men den har i dag ikke det samme omfang.

Internationalt blev der også sat øget fokus på det ikke-kemiske område dog med nogen forsinkelse i forhold til lande som Holland, Danmark og Sverige. Som en konsekvens af denne udvikling blev den internationale arbejdsgruppe *Physical and Cultural Weed Control* (http://www.ewrs.org/physical_and_cultural_weed_control.asp) etableret i 1994. Gruppen er organiseret under *European Weed Research Society*. Gruppen har trods sin europæiske forankring betydelig deltagelse fra lande udenfor Europa, især fra Nordamerika, hvor fysisk og kulturteknisk ukrudtsbekæmpelse også er kommet på dagsordenen.

De ikke-kemiske metoder finder i første række anvendelse i økologisk jordbrug, hvor de løbende bliver implementeret, så snart dokumentationen og den praktiske anvendelse er klarlagt. Der er således kort omsætningstid fra forskning til anvendelse i praksis, bedst eksemplificeret ved metoder som rækkedampning (Melander & Kristensen 2011), strategier for ukrudtsharvning i korn og bælgæd (Rasmussen & Rasmussen 1994), flammebehandling i majs (Videnscentret, 2011) og de nye lugerobotter til rækkeafgrøder (Tillett *et al.*, 2008). Implementeringen i det konventionelle jordbrug har slet ikke det samme omfang, hvilket skyldes herbicidernes høje effektivitet, forholdsvis nemme anvendelse og relativt lave omkostninger sammenlignet med de fleste ikke-kemiske metoder. Situationen vil imidlertid være en anden fremover, da nye pesticidafgifter og et krav fra EU-kommissionen om en større anvendelse af IPM koncepter til regulering af skadevoldere sandsynligvis vil medføre en større anvendelse af ikke-kemiske metoder end set tidligere (Hillocks, 2012).

I nærværende vidensyntese sammenfattes de seneste års resultater og erfaringer med direkte ikke-kemiske metoder til bekæmpelse af frøkrudt i landbrugsafgrøderne korn, bælgæd, raps, kartofler og majs. En direkte metode defineres som en redskabsbaseret bekæmpelsesaktion udført direkte i afgrøden. De omtalte bekæmpelsesmetoder er kun relevante overfor frøkrudt, fordi de generelt har utilstrækkelig effekt overfor rodukrudt. Ikke-kemisk bekæmpelse af rodukrudt skal foregå i perioderne mellem dyrkningen af afgrøderne og vil i de fleste tilfælde medføre en betydelig anvendelse af jordbearbejdning. I betragtning af de nye restriktioner ang. jordbearbejdning og krav til efterafgrøder i efterårsperioden er der meget begrænset spillerum for udførelsen af mekanisk rodukrudtsbekæmpelse. Syntesen vil kun omfatte de metoder, som vurderes at kunne blive relevante elementer i IPM-koncepter til bekæmpelse af frøkrudt i de nævnte landbrugsafgrøder. Det vil primært dreje sig om mekaniske metoder. Ikke relevante metoder er typisk dem, hvor effekterne er for svage og usikre og/eller for besværlige og uøkonomiske at anvende. Syntesens formål er at kvantificere effekten af ikke-kemiske metoder for de afgrøder, hvor de vurderes at kunne finde anvendelse. Ud fra arbejdshypotesen ”ikke-kemiske metoder til ukrudtsbekæmpelse kan i en vis udstrækning erstatte anvendelsen af herbicider” gives der i projektets opsamling og konklusioner forslag til, hvorledes de ikke-kemiske metoder bedst kan inkluderes i IPM koncepter.

Mekanisk ukrudtsbekæmpelse

Mekanisk ukrudtbekæmpelse udført som jordbearbejdning bekæmper ukrudtet ved oprykning, tildækning med jord eller afskæring/afrivning af rødder/stængler/blade. Den nøjagtige virkningsmekanisme vil afhænge af redskabets udformning (Melander *et al.*, 2005).

Jordbearbejdningens ukrudtsbekæmpende effekt har været kendt helt tilbage fra de første agerbrugere. Den primære jordbearbejdning i form af pløjning og såbedstilberedning bekæmper en betydelig del af ukrudtsmængden og en generel nedbringelse af denne indsats i forbindelse med reduceret jordbearbejdning kan føre til alvorlige ukrudtsproblemer og et øget herbicidforbrug (Melander *et al.*, 2013).

Ukrudtsharvning i vårsæd

Ukrudtsharvning har været kendt i årtier og havde før den kemiske æra stor betydning. Metoden har været genstand for fornyet forskning specielt her i landet, og der er også foregået en vis udvikling af selve redskabet, men mest i form af større arbejdsbredder og mere brugervenlige indstillingsmuligheder. Grundlæggende er det stadig en harvetand, som skaber den ukrudtsbekæmpende effekt ved oprykning og tildækning af ukrudtsplanterne. Effekten af ukrudtsharvning er meget afhængig af ukrudtets størrelse på bekæmpelsestidspunktet. Ukrudt på trådstadiet og frem til kimbladsstadiet er nemmest at bekæmpe. (Trådstadiet er fra spiring, og indtil spiren når jordoverfladen). Derefter er det betydeligt vanskeligere at opnå en høj bekæmpelseseffekt selv med en aggressiv indstilling af harven. Med en aggressiv indstilling er der desuden stor fare for at skade afgrøden i betydelig grad. Ukrudtsharvning i korn, majs og bælgssæd kan udføres som blindharvning, alm. ukrudtsharvning og selektiv harvning (kun korn) enten alene eller i kombination (Rasmussen & Rasmussen, 1994).

Ved en vurdering af de bekæmpelseseffekter, der kan opnås under markforhold, er det meget afgørende at vurdere forsøgsresultaterne ud fra den tilgang forskerne har haft til udførelsen af ukrudtsharvning. Brandsæter *et al.* (2012) opnåede en betydelig variation i bekæmpelseseffekterne af blindharvning, alm. ukrudtsharvning og de to strategier i kombination i vårsæd – eksempelvis varierede effekten af almindelig ukrudtsharvning mellem -7 og 56 % i 8 forsøg. I forsøgene blev harvningerne udført efter en standardforeskrift uden nærmere hensyntagen til afgrødens og ukrudtets udviklingstrin på bekæmpelsestidspunktet. Rasmussen (1991) har tidligere vist, at harveintensiteten skal tilpasses selektivitetsforholdene på bekæmpelsestidspunktet, således at uønskede afgrødeskader undgås. Gode selektivitetsforhold er typisk tilstede, når frøukrudtet er på tråd- til kimbladstadiet, og afgrødeplanterne samtidig er større og mere forankrede i jorden. I sådanne situationer er en moderat aggressivitet tilstrækkelig til at bekæmpe ukrudtet, og afgrøden påvirkes kun i ubetydelig grad. Dårlige selektivitetsforhold er kendetegnet ved afgrøde og ukrudt på samme udviklingstrin – her kan det være svært at undgå afgrødeskader, hvis ukrudtet skal bekæmpes tilfredsstillende. Rasmussen (1991) anvender dækning af afgrøden med jord som et udtryk for harvningens intensitet; desto større afgrødetildækning, desto større ukrudtseffekt - og risiko for afgrødeskade. Ved gode selektivitetsforhold i vårsæd, hvilket er ukrudt på kimbladsstadiet, et moderat ukrudtstryk < 500 planter m⁻² og korn på 3-4 bladstadium, kan 70-80 %'s bekæmpelseseffekt opnås uden væsentlige afgrødeskader med én almindelig ukrudtsharvning, der giver en afgrødetildækning på 10-20 % (Rasmussen *et al.*, 2010). Opnåelsen af den ønskede afgrødetildækning i den givne situation er imidlertid stadig en betydelig barriere for den praktiske udførelse af ukrudtsharvning (Rasmussen, 2010). Der er udviklet billedbehandling til støtte for bestemmelse af afgrødetildækningen (Rasmussen *et al.*, 2007), men teknologien mangler stadig at blive tilpasset praktisk anvendelse. I tilfælde af meget høje ukrudtstryk og/eller stor forekomst af ukrudtsarter med strækningvækst (eksempelvis ager-sennep, alm. hanekro og højt voksende græsser) kan det være nødvendigt at anvende to eller alle 3 harvestrategier (blindharvning, alm. og selektiv harvning) i kombination for at opnå et bekæmpelsesniveau på 70-80 % (Lundkvist, 2009; Rasmussen & Rasmussen, 1994; Rasmussen & Svenningsen, 1995). Forebyggende strategier som f.eks. gødningsplacering (Rasmussen 2002), udsæd med høj spireevne og vitalitet (Rasmussen & Rasmussen, 2000) og valg af konkurrencesterke kornsorter (Hansen *et al.*, 2007) kan også bidrage

til effektniveauet 70-80 % under ellers vanskelige selektivitetsforhold ved at nedsætte antallet af fremspirede ukrudtsplanter og/eller fremme afgrødens vækst i forhold til ukrudtet. Ekstra harvninger og forebyggende metoder - der ellers ikke tjener andre formål - vil naturligvis fordyre ukrudtsbekæmpelsen.

Ukrudtsharvning i vinterhvede

I tidligere forsøg har ukrudtsharvning i vinterhvede været vanskeligere at udføre med samme succes som i vårsæd (Rasmussen, 1998). Hveden skades lettere ved harvning efter fremspiring om efteråret med udbyttenedgang til følge. Om efteråret er hveden ikke i særlig kraftig vækst, og har derfor sværere ved at kompensere for den del af bladene, der bliver tildækket ved harvning. Forholdene for gennemførelse af ukrudtsharvning kan ligeledes være vanskelige om efteråret, især ved sen såning: jorden kan være for fugtig til at ukrudtharve med tilfredsstillende effekt. Om foråret er vinterhveden normalt mere robust, men ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst (f.eks. lugtløs kamille og kornvalmue) bekæmpes for dårligt ved ukrudtsharvning (Rasmussen, 1998). Tidlig ukrudtsharvning om foråret har i danske forsøg givet 40-70 %'s bekæmpelseeffekt mod bundukrudtsarter som ærenpris, stedmoder, og fuglegræs, og blev der suppleret senere om foråret med selektive harvninger, kunne effektniveauet hæves til mere end 70 % (Rasmussen, 1998). Resultaterne fra Rasmussen (1998) er ret konsistente, men i andre forsøg har resultaterne været mere svingende (bl.a. Welsh *et al.*, 1996).

Samspillet mellem ukrudtseffekt, afgrødeskade og overvintring er imidlertid ikke entydigt, da nyere forsøg gav ganske gode resultater med harvning udført enten efterår eller forår - og selv mod vanskelige ukrudtsarter med strækningsvækst (Rueda-Ayala *et al.*, 2011). Her var det muligt at opnå 80 %'s bekæmpelseeffekt uden væsentlige afgrødeskader. Harveintensiteten for opnåelse af den høje effekt blev beregnet ud fra jordtildækningen af afgrøden, som varierede fra 6-26% ved 80 %'s ukrudtseffekt alt afhængig af lokaliteten, afgrødens udviklingstrin og ukrudtsfloraen.

Ukrudtsharvning i bælgssæd

Tilsvarende som i vårsæd kan der opnås 60-80 %'s bekæmpelseeffekt mod en blandet bestand af tokimbladede ukrudtsarter i lupiner og ærter, uden at bælgssæden skades i væsentlig grad (Jensen *et al.*, 1999; Lundkvist, 2009). Jensen *et al.* (2004) udviklede tilsvarende analysekoncept til lupiner som til vårsæd til beskrivelse af sammenhængene mellem ukrudtseffekt, afgrødeskade og jordtildækning. Ved store forekomster af ager-sennep er det nødvendigt med en kombineret behandling med blindharvning plus alm. ukrudtsharvning udført kort tid efter afgrødens fremspiring (Lundkvist, 2009). Ærter skades ved harvning på senere udviklingstrin, hvor klatretråde begynder at udvikles – kun tidlige harvninger er derfor muligt (Rasmussen, 1993).

Ukrudtsharvning i majs

Ukrudtsharvning i majs er også muligt på sandjord, men anvendes redskabet alene, skal der udføres temmelig mange træk for at opnå mere end 90 %'s bekæmpelseeffekt (Melander *et al.*, 1995). Harvningerne følger ikke de samme principper som i korn og bælgssæd, men udføres typisk som 1-2 blindharvninger efterfulgt af forsigtige behandlinger med lav aggressivitet efter majsens fremspiring. Antallet af harvninger kan nedbringes, hvis ukrudtsharvning kombineres med hypning af ukrudt i rækken ved hjælp af en kartoffelhypper eller stjernerullerenser (Mikkelsen *et al.*, 2002). Normalt er det ukrudt i majs-rækken, som er svær at bekæmpe tilfredsstillende, da mangelfuld bekæmpelse mellem rækkerne kan klares med almindelig radrensning. Erfaringerne med mekanisk ukrudtsbekæmpelse i majs på lerjord er generelt mindre gode (Mikkelsen *et al.*, 2002).

I majs er det også muligt at anvende flammebehandling både før og efter majsens fremspiring – en metode som har vundet stor indpas i den økologiske majsdyrkning. Efter fremspiring kan majsens brændes på 3-5 bladstadiet med begrænsede afgrødeskader (0-5 %) (Ulloa *et al.*, 2011; Videncentret, 2011). Afsluttes en ikke-kemisk strategi baseret på flammebehandling med hypning

kan der opnås en ganske høj bekæmpelseeffekt, omkring de 90 %, men strategien er dyrere end ren mekaniske strategier.

I Holland har man udviklet et IPM-koncept med falsk såbed og blindharvninger i majs efterfulgt af herbicidspøjtninger med nedsatte doseringer. Effekterne er på højde med de almindelige herbicidprogrammer, når gode forhold for gennemførelse af den mekaniske bekæmpelse er til stede (ENDURE deliverable DR1.6). Harvningerne før majsens fremspiring vil bevirke, at ukrudtet er nedsat i antal og forsinket i deres vækst, hvilket gør det muligt at opnå en høj effekt med nedsatte doser.

Radrensning i korn

Radrensning er ikke nær så krævende som ukrudtsharvning mht. til timingen af behandlingerne i forhold til ukrudtets udviklingsstrin; ukrudt med flere løvblade kan stadig bekæmpes i tørre vejrperioder. Effekterne er også langt bedre mod ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst end ukrudtsharvning, men kun hvor radrensereskåret arbejder. I danske (vårbyg og vinterhvede) og svenske (kun vårbyg) undersøgelser med radrensning i konventionelt dyrket korn har der været opnået ganske gode bekæmpelseeffekter ved 1-2 behandlinger, og radrensningen kunne gennemføres uden nævneværdige skader på afgrøden (Rasmussen & Pedersen, 1990; Johansson, 1998; Melander *et al.*, 2003). Eksempelvis opnåede Melander *et al.* (2003) i vinterhvede en 60-70 %'s bekæmpelseeffekt mod blandede frøukrudtsbestande med effekter på 50-90 % mod ukrudtsarter med pælerødder og strækningsvækst; størst effekt mod lugtløs kamille og mindst mod spildraps. Rækkeafstandsforøgelsen fra 12 cm til 20 eller 24 cm, som var nødvendig for at gennemføre radrensningen, gav i de danske undersøgelser udbyttenedgange på 0-12% under forudsætning af, at udsædsmængden pr. ha blev bibeholdt, og at radrensningen gav en tilfredsstillende ukrudtsbekæmpelse. I den svenske undersøgelse medførte en rækkeafstandsforøgelse fra 12,5 cm til 25 cm en udbyttenedgang på 6-8%.

I forsøg med udsædsmængde, rækkeafstand, gødningsplacering og radrensning i rug og vinterbyg blev der opnået ganske høje bekæmpelseeffekter. En forbedring af kornets konkurrenceevne mod ukrudt i selve kornrækken gennem en øget kornplantebestand eller ved placering af gødningen øgede bekæmpelseeffekterne af mekanisk bekæmpelse med 20-30 %, således at de samlede effekter var tæt på niveauet for kemisk bekæmpelse (80-90 %). Også mod ukrudtsarter med pælerøds- og strækningsvækst blev der opnået gode bekæmpelseeffekter i størrelsesordenen 65-90 %. Ukrudtsharvning udført lige efter radrensning, og med samme hastighed som denne, forbedrede bekæmpelseeffekterne med 17-39% sammenlignet med kun radrensning. En øgning af rækkeafstanden til 24 cm's rækkeafstand medførte generelt et udbyttetab på 9-12% i vinterbyg og 4-6% i rug i forhold til 12 cm's rækkeafstand (Melander *et al.*, 2001).

Sammenlignet med ukrudtsharvning kræver radrensning i korn meget præcis styring af redskabet for at undgå skader på kornet, og arbejdskapaciteten er ikke nær så høj med den nuværende teknologi.

Radrensning i raps

Radrensning kan gennemføres i vinterraps med et godt resultat, når rapsen sås på 50 cm's rækkeafstand i stedet for de normale 12,5 cm. Gennemføres der 2-3 radrensninger – 1-2 om efteråret og 1 tidligt forår – kan der opnås en tilfredsstillende ukrudtsbekæmpelse med ca. 80 % bekæmpelseeffekt. En nylig gennemført farmtest bekræfter tidligere forsøg og praktiske erfaringer; at på mange arealer vil radrensning kunne erstatte kemisk bekæmpelse (Pedersen & Petersen, 2011). Spildkorn og store forekomster af lugtløs kamille kan dog volde problemer i rækken, hvor radrenseren kun har ringe effekt. Disse arter kan blive særlig problematiske i de tilfælde, hvor rapsen etableres dårligt og væksten hæmmes af vejrliget.

Stjernerullerensning i kartofler

Ukrudt i kartofler kan bekæmpes effektivt med en stjernerullerenser - og det med blot én behandling. Det har en tidligere forsøgsserie ret entydigt vist (Rasmussen & Rasmussen, 2003). Her blev der anvendt en stjernerullerenser på forsøgsjorderne ved Jyndevad (JB1) og Flakkebjerg (JB6). Med én behandling udført omkring kartoflernes fremspringstidspunkt var det muligt at opnå en bekæmpelseeffekt på over 90 % mod almindelige frøukrudtsarter som f. eks. hvidmelet gåsefod og snerle-pileurt. Frøukrudtet havde typisk udviklet to blivende løvblade på bekæmpelsestidspunktet. Flere behandlinger med stjernerullerenseren øgede ganske vist effektniveauet, men mod almindelige frøukrudtsarter vurderedes det helt unødvendigt set i forhold til det øgede tidsforbrug ved flere behandlinger. Hovedbudskabet fra dette forsøgsarbejde kan sammenfattes til, at blot ét træk med en stjernerullerenser kan føre til en tilfredsstillende bekæmpelse mod det forekommende frøukrudt. Behandlingen udføres lige før kartoflernes fremspiring på kamme etableret ved lægning. Efter ca. 2 ugers forløb afsløres det, om et ekstra træk evt. er nødvendigt, hvilket kan komme på tale ved et særligt stort ukrudtstryk, eller hvor effekten af første behandling ikke er tilfredsstillende. Selvom resultaterne ikke dækker over alle forekommende frøukrudtsarter, vil ét træk med en stjernerullerenser sandsynligvis være tilstrækkeligt i de fleste situationer.

Oversigt over bekæmpelseeffekter og deres variabilitet

Tabel 1 sammenfatter effekterne af de mest relevante ikke-kemiske løsninger til ukrudtsbekæmpelse i de store landbrugsafgrøder. Effektangivelserne er baseret på gode forhold for metodernes gennemførelse. Det er typisk stenfri, jævne og bearbejdelige marker, tørre vejrforhold og en lav forekomst af rodokrudt samt veletablerede og optimalt gødede afgrøder. Effekterne dækker over de gennemsnitlige effekter opnået i forsøgene, som typisk vil ligge indenfor de angivne intervaller. Variationen er mest udtryk for forekomsten af ukrudtsarter med strækningsvækst, som især har betydning ved ukrudtsharvning.

I tabellen er der også angivet variationsbredder, som viser hvordan bekæmpelseeffekterne kan falde ud, når de ikke er gennemført under optimale forhold, eller når der er forhold, eksempelvis jordtyper, hvor der ikke er klarhed over, hvordan bekæmpelsen bedst gennemføres (Brandsæter *et al.*, 2012). De viste værdier i variationsbredden skal betragtes som effekter, der kan forekomme i praksis. Tallene stammer fra forsøg, hvor disse variationer er opnået. Det er primært de nedre værdier i variationen, som er interessante, fordi de afspejler en risiko for svage eller i værste fald ingen effekter. Det er ikke muligt ud fra de foreliggende undersøgelser at beregne en risikofaktor for, hvor ofte sådanne uheldige behandlinger vil opstå. Eksempelvis kunne det tænkes at gruppere undersøgelserne efter, hvor gode effekterne har været og så ud fra fordelingen af dårlige resultater versus gode resultater forsøge at beregne en sandsynlighed for, hvornår en dårlig hændelse kan opstå. Hertil er materialet desværre alt for heterogent. Når en ukrudtsharvning eksempelvis kan falde ud med ingen effekt, vil det ofte være et sammenfald af flere forhold. Eksempelvis stor forekomst af korsblomstrede arter på lerholdig jord kombineret med lange regnfulde perioder, der forhindrer udførelsen af korrekt timede behandlinger i forhold til ukrudtets størrelse. I den norske undersøgelse af Brandsæter *et al.* (2012) med et større antal forsøg med ukrudtsharvning var der overraskende mange dårlige effekter, som forfatterne ikke umiddelbart kunne tilskrive forekomster af særligt vanskelige ukrudtsarter. Derimod tydede det på, at vejrforholdene, jordtyperne og stenforekomsterne havde vanskeliggjort gennemførelsen af ordentlige ukrudtsharvninger. Især komprimerede og stenfyldte jorde med et højt lerindhold kan være vanskelige at bearbejde. Kigger man på variabiliteten i forsøgsresultaterne på tværs af redskabstyperne er det tydeligt, at variabiliteten aftager fra de lette ukrudtsharver til stjernerullerenseren, som fremviser den største effektstabilitet. Stjernerullerenseren er et kraftigere redskab, som flytter betydeligt større mængder jord end ukrudtsharven. Radrenerskær indtager en mellemposition, hvor effektudfald primært skyldes genvækst forårsaget af fugtige forhold efter behandling. Men i modsætning til ukrudtsharvning vil der med radrenerskæret være mulighed for en genbehandling senere, da ukrudtets størrelse ikke er nær så afgørende for effekten. Den samlede effekt af radrensning er mest betinget af, hvor stor en del af jordoverfladen, som renses. Store rækkeafstande med rensning tæt

på afgrøderækken vil således give en højere samlet effekt end rensning på mindre rækkeafstande. I korn og raps tilbagestår ukrudtet i rækken, som i nogen grad kan hæmmes ved konkurrence, men variabiliteten i denne hæmning kan være stor og helt afhænge af ukrudtets artssammensætning og afgrødens konkurrenceevne. I forhold til den samlede ukrudtseffekt, summen af effekterne mellem og i rækkerne, vil selv en stor variation i rækken ikke betyde en større variation end maks. $\pm 10\%$ for den samlede effekt.

Til majs er der angivet strategier, som foruden mekaniske metoder, også indeholder termiske i form af flammebehandling. Der er desværre kun meget få resultater til rådighed, som kan belyse variabiliteten i den samlede effekt af sådanne strategier. Det gælder for brænding mod ukrudt som for ukrudtsharvning, at ukrudtets størrelse på bekæmpelsestidspunktet er helt afgørende for resultatet, hvis effekten skal opnås med et normalt gasforbrug (Ascard *et al.*, 2007). Ukrudtsarter med beskyttede vækstpunkter (f.eks. enårig rapgræs og storkeæbarterne) er sværere at bekæmpe end dem med ubeskyttede vækstpunkter (f.eks. alm. brandbæger og hvidmelet gåsefod), men for begge typer ukrudt gælder det, at gasforbruget øges markant, når ukrudtsplanterne har udviklet 3-4 løvblade eller mere. Et normalt gasforbrug er 50-60 kg gas ha⁻¹, som nemt kan stige til over 100 kg gas ha⁻¹, hvis effekten skal fastholdes mod stort ukrudt. Variabiliteten i bekæmpelseseffekter ved flammebehandling er nødvendigvis ikke særlig stor, men gasforbruget kan altså mere end fordobles ved dårlig timing af behandlingen. En væsentlig fordel ved flammebehandling sammenlignet med eksempelvis ukrudtsharvning er, at behandlingen kan gennemføres selv under fugtige vejrforhold, så længe jorden er farbar – vejrforholdene er sjældent begrænsende for brændingens udførelse. Det samme kan siges om jordtypen. Samlet betragtet er flammebehandling forbundet med en større effektstabilitet overfor fremspiret ukrudt end ukrudtsharvning.

Diskussion

Ukrudtsharvning i korn og bælgssæd er den af de foreslåede bekæmpelsesmetoder i tabel 1, som er behæftet med størst usikkerhed effektmæssigt såvel som risiko for at påføre afgrøden alvorlige skader. I IPM sammenhæng vurderes metoden ikke at kunne stå alene; supplerende herbicidbehandlinger vil jævnligt være nødvendige. Ukrudtsharvning vil være en interessant metode til vårsæd, fordi en eller to harvninger ved moderate ukrudtstryk og begrænsede forekomster af ukrudtsarter med strækningvækst kan resultere i en tilfredsstillende ukrudtsbekæmpelse. Især i havre ser perspektiverne lovende ud, fordi overlevende ukrudt fra harvningerne vil udvikles svagt i den konkurrencesterke havre. Store forekomster af især korsblomstret ukrudt vil være en betydelig udfordring for ukrudtsharvning, som sandsynligvis vil kræve supplerende herbicidbehandlinger. Ugunstige vejr- eller jordbundsforhold kan ligeledes nødvendiggøre supplerende herbicidbehandling.

En væsentlig fordel ved ukrudtsharvning sammenlignet med andre mekaniske metoder har længe været redskabets relativt store arbejdskapacitet pga. arbejdsbredder på op til 12 m og fremkørselshastigheder på 5-7 km t⁻¹. Men retters blikket mod den økologiske korn- og bælgssædsproduktion er avlernes interesse rettet mod øget rækkeafstand og radrensning. Det er især de nye kamerasystemer til automatisk styring af redskabet samt muligheden for radrensning med højere kapacitet end tidligere, som har vakt økologernes interesse. Flere finder ukrudtsharven svær at indstille og betjene optimalt. Effekterne ved ukrudtsharvning er for usikre, og bekymring om skader på afgrøden er udtalt. Radrensning giver en mere sikker ukrudteffekt, og styringen af redskabet med de nye styringsteknologier anses ikke længere for en væsentlig barriere for metodens udbredelse. Tilbage er ukrudtet i rækkerne, som i økologisk sammenhæng næppe vil give anledning til bekymring. Om radrensning i korn og bælgssæd på øget rækkeafstand vil kunne indgå som en relevant metode i et IPM program er derimod meget tvivlsomt for nuværende. Den øgede rækkeafstand fra 12,5 cm til 24 cm i korn kan medføre et udbyttetab på op til 10 %, arbejdskapaciteten er trods de nye styringsmuligheder stadig lavere end marksprøjtens, og den konventionelle avler vil næppe acceptere større ukrudtsmængder i rækkerne.

TABEL 1.

RELEVANTE IKKE-KEMISKE LØSNINGER TIL BEKÆMPELSE AF FRØUKRUDT I LANDBRUGSAFGRØDER MED ANGIVELSE AF ANTAL NØDVENDIGE BEHANDLINGER, BEKÆMPELSESEFFEKTER OG VARIATIONSBREDDER SAMT LØSNINGERNES EFFEKTMÆSSIGE SVAGHEDER OVERFOR VISSE UKRUDTSARTER.

Afgrøde	Ukrudtssituation	Metode/ strategi	Antal træk ialt	Bekæmpel- seeffekt (%)	Variations- bredde, % effekt	Svagheder
Vårsæd	Lavtvoksende arter (eks. ærenpris, agerstedmoder, fuglegræs). Få højt voksende arter (f.eks. kamille, hanekro, ager-sennep, græsser)	Almindelig ukrudtsharvning	1	70-80	0-90	Arter med strækningsvækst (f.eks. kamille, ager-sennep, græsukrudt)
	Høj forekomst af arter med strækningsvækst (f.eks. kamille, hanekro, ager-sennep, , græsser)	Blindharvning + alm. ukrudtsharvning	2-3	60-80	0-90	Ager-sennep og græsukrudt
Vintersæd	Lavtvoksende arter (f.eks. ærenpris, agerstedmoder, fuglegræs, hyrdetakse). Få højt voksende arter (f.eks. kamille, græsser)	Forår: alm. ukrudtsharvning + selektiv ukrudtsharvning	2	40-70	40-80	Arter med strækningsvækst (f.eks. kamille og græsukrudt)
	Høj forekomst af arter med strækningsvækst (f.eks. kamille, kornvalmue, spildraps, græsser)	Forår: radrensning 20-24 cm's rækkeafstand + selektiv ukrudtsharvning	2	60-90, højest effekt i rug og vinterbyg	40-95	Ukrudt i kornrækken med strækningsvækst (f.eks. kamille og græsukrudt)
Ært/lupin	Frøukrudt generelt	Blindharvning + alm. ukrudtsharvning	2	60-80	20-95	Ager-sennep og spildraps
Vinterraps	Frøukrudt generelt	Radrensning, 50 cm's rækkeafstand	2-3	70-80	Få data	Spildkorn og kamille i rapsrækken
Majs	Frøukrudt generelt	Falsk såbed + 1xblindharvning + 2xalm. ukrudtsharvning + 2xhøypning	5	70-90 på sandjord, lavere effekt på lerjord	Få data	Kolde forår, hvor majsens vokser langsomt
	Frøukrudt generelt	Falsk såbed + 1xflammebehandling før fremspiring + 1xflammebehandling på majsens 3-4 bladstadium + høypning (1x)	3	80-90	70-100	Græsukrudt
	Frøukrudt generelt	Flammebehandling før fremspiring og igen på 3-5 bladstadiet	2	80-90	70-100	Græsukrudt
Kartofler	Frøukrudt generelt	Stjernerullerrensning	1-2	90-100	80-100	Ingen væsentlige

I vinterraps dyrket på øget rækkeafstand er der potentiale for en større implementering af radrensning mellem rækkerne end for nuværende. Metoden har tidligere vist lovende resultater i

vinterraps, og med de nye styringsmuligheder er renseopgaven blevet langt lettere. Der vil dog stadig være en udfordring med ukrudt i rækken, hvor båndsprøjtningsteknologi kan komme på tale til bekæmpelse af større forekomster af spildkorn, græsukrudt, valmuer eller kamiller. I andre rækkeafgrøder, som majs og roer, anvendes radrensning allerede en del, men i fremtidens IPM-programmer bør den være en standardmetode, og al kemisk indsats bør kun være rettet mod ukrudt i rækkerne (Melander *et al.*, 2008). Radrensning giver en sikker effekt mod ukrudt mellem rækkerne og vil være et vigtigt redskab i kampen mod herbicidresistens. Et problem som forstærkes i takt med, at flere og flere aktivstoffer fjernes fra markedet og nye aktivstoffer ikke kommer til (Mathiassen, 2012).

I tabel 1 er der angivet 3 eksempler på ikke-kemiske bekæmpelsesstrategier til majs, som alle har relevans for økologisk jordbrug. Alle strategierne rummer mulighederne for skader på majs og utilstrækkelig effekt mod ukrudt i rækken eller for flammebehandlingsens vedkommende et uforholdsmæssigt højt gasforbrug. Især svigtende ukrudteffekt mod ukrudt i rækken har stor betydning for udbyttet. Mikkelsen *et al.* (2002) fandt, at en ukrudtsdækning i majsrækken på 50 % mere end halverede majsudbyttet, og at de bedste ikke-kemiske strategier stadig efterlod en ukrudtsmængde i rækken svarende til et udbyttetab på 10-20 %. Strategierne vil ikke være relevante i en IPM sammenhæng, så længe radrensning og båndsprøjtning kan klare ukrudtsproblemerne. Stjernerullerrensning i kartofler har allerede vist sit potentiale, og en forsigtigt vurdering angiver en reduktion i herbicidanvendelsen på 50 %, såfremt stjernerullerrensning indgår som en standardbehandling i kartoffelavl (Melander *et al.*, 2011). Der er flere eksempler på, at bekæmpelsen kan foregå helt uden brug af herbicider mod frøukrudt, hvor flerårigt ukrudt stadig vil kræve supplerende kemiske behandlinger. Metoden har allerede vundet indpas i praksis en del steder og med gode erfaringer (Loft & Østergaard, 2011). Den væsentligste ulempe er risikoen for skader på kartoflerne ved forkert anvendelse og indstilling af redskabet. Selv mindre skader kan få mærkbare konsekvenser for indtjeningen, da kartofler er en højværdiafgrøde. Den megen løsning af jorden kan nogle steder forårsage sandflugt og strukturskader, og dannelse af uønskede jordknolde kan på nogle jordtyper være et problem for den senere optagning af kartofler.

Referencer

- Ascard J, Hatcher PE, Melander B & Upadhyaya MK. (2007). Thermal Weed Control. In: Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology, (Editors: M.K. Upadhyaya & R. E. Blackshaw). CAB International (www.cabi.org), Wallingford (UK): 155-175.
- Brandsæter LO, Mangerud K & Rasmussen J. (2012). Interactions between pre- and post-emergence weed harrowing in spring cereals. *Weed Research* 52: 338-347.
- Hansen PK, Rasmussen IA, Holst N & Andreassen C. (2007). Tolerance of four spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties to weed harrowing. *Weed Research* 47: 241-251.
- Hillocks RJ. (2012). Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection* 31: 85-93.
- Jensen RK, Melander B & Callesen NH. (1999). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i lupiner. 16. Danske Planteværnskonference / Plantebeskyttelse i økologisk jordbrug / Sygdomme og skadedyr: 97-106.
- Jensen KR, Rasmussen J & Melander B (2004). Selectivity of weed harrowing in lupin. *Weed Research* 44: 245-253.
- Johansson D. (1998). Radhackning med och utan efterredskap i stråsåd. Rapporter från jordbearbetningsavdelingen, Sveriges Lantbruksuniversitet, nr. 94: 55 pp.
- Loft M & Østergaard P. (2011). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i praksis. Sammendrag af indlæg Plantekongres 2011, 11-13 Januar, Herning Kongrescenter: 241-243.
- Lundkvist A. (2009). Effects of pre- and post-emergence weed harrowing on annual weeds in peas and spring cereal. *Weed Research* 49: 409-416.
- Mathiassen SK. (2012). Status for resistens mod ukrudtsmidler. Sammendrag af indlæg Plantekongres 2012, 10-12 Januar, Herning Kongrescenter: 236-237.

Melander B, Rasmussen J & Rasmussen K. (1995). Ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse - Muligheder og begrænsninger i vinterraps og majs. *12 Danske Planteværnskonference/Ukrudt 1995*, 123-137.

Melander B, Rasmussen K, Rasmussen IA & Jørgensen MH. (2001). Radrensning med og uden ukrudtsharvning i vintersæd om foråret i samspil med forskellige dyrkningsfaktorer. 18. Danske Planteværnskonference. DJF-rapport nr. 40 (2001): 211-225.

Melander B, Cirujeda A & Jørgensen MH. (2003). Effects of inter-row hoeing and fertiliser placement on weed growth and yield of winter wheat. *Weed Research* 43: 428-438.

Melander B, Rasmussen IA & Barberi P. (2005). Integrating Physical and Cultural Methods of Weed Control – Examples from European Research. *Weed Science* 53: 369-381.

Melander B, Barberi P, Monier-Jolain N, Van der Weide R, Verschwele A & Sattin M. (2008). Maize cropping with less herbicides. *ENDURE Integrated Weed Management Case Study – Guide Number 1*, 4 pp. http://www.endure-network.eu/endure_publications/endure_publications2.

Melander B & Kristensen JK. (2011). Soil steaming effects on weed seedling emergence under the influence of soil type, soil moisture, soil structure and heat duration. *Annals of Applied Biology* 158: 194-203.

Melander B, Ørum JE & Thomsen HC. (2011). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. Sammendrag af indlæg Plantekongres 2011, 11-13 Januar, Herning Kongrescenter: 239-240.

Melander B, Munier-Jolain N, Charles R, Wirth J, Schwarz J, Van der Weide R, Bonin L, Jensen PK & 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.

Mikkelsen G, Djurhus J, thomsen H & Damgaard E. (2002). Mekanisk renholdelse af majs. *Grøn Viden Markbrug* nr. 248: 1-6.

Pedersen J & Petersen PH. (2011). Radrensning af majs og raps. *Farmtest Maskiner og Planteavl* 118: 33 pages. Videncentret for Landbrug, Aarhus, Denmark.

Rasmussen IA & Rasmussen K. (2003). Mekanisk ukrudtsbekæmpelse i kartofler. 20. Danske Planteværnskonference. Korn, kartofler, skadedyr, miljø og postere: 91-104.

Rasmussen J. (1991). A model for prediction of yield response in weed harrowing. *Weed Research* 31: 401-408.

Rasmussen J. (1993). Yield response models for mechanical weed control by harrowing at early crop growth stages in peas (*Pisum sativum* L.). *Weed Research* 33: 231-240.

Rasmussen J. (1998). Ukrudtsharvning i vinterhvede. 15. Danske Planteværnskonference – Ukrudt. DJF-rapport nr. 2: 179-189.

Rasmussen J. (2010). Ukrudtsharven kan afløse kemi. *Agrologisk* 28: 22-23.

Rasmussen J & Pedersen TB. (1990). Forsøg med radrensning i korn - rækkeafstand og udsædsmængde. 7. Danske Planteværnskonference/Ukrudt: 187-199.

Rasmussen J & Rasmussen K. (1994). Strategier for mekanisk ukrudtsbekæmpelse i vårsæd 11. Danske Planteværnskonference – Ukrudt. SP-rapport nr. 6. 149-162.

Rasmussen J & Svenningsen T. (1995). Selective weed harrowing in cereals. *Biological Agriculture and Horticulture* 12: 29-46.

Rasmussen J, Nørremark M & Bibby BM. (2007). Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research* 47: 299-310.

Rasmussen J, Mathiasen H & Bibby BM. (2010). Timing of post-emergence weed harrowing. *Weed Research* 50: 436-446.

Rasmussen K. (2002). Influence of liwuid manure application method on weed control in spring cereals. *Weed Research* 42: 287-298.

Rasmussen K & Rasmussen J. (2000). Barley seed vigour and mechanical weed control. *Weed Research* 40: 219-230.

Rueda-Ayala VP, Rasmussen J, Gerhards R & Fournaise NE. (2011). The influence of post-emergence weed harrowing on selectivity, crop recovery and crop yield in different growth stages of winter wheat. *Weed Research* 51: 478-448.

Tillett ND, Hague T, Grundy AC & Dedousis AP. (2008). Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision. *Biosystems Engineering* 99: 171-178.

Ulloa SM, Datta A, Bruening C, Neilson B, Miller J, Gogos G & Knezevic SZ. (2011). Maize response to broadcast flaming at different growth stages: Effects on growth, yield and yield components. *European Journal of Agronomy* 34: 10-19.

Videncentret. (2011). <http://www.landbrugsinfo.dk/Oekologi>. Videncentret 2011. Besøgt: December 18, 2011.

Welsh JP, Bulson HAJ, Stopes CE, Froud-Williams RJ & Murdoch AJ. (1996). Weed control in organic winter wheat using a spring-tine weeder. *Proceedings of the Second International Weed Control Congress, Copenhagen*: 1127-1132.

Bilag 7: Delrapport AP7 - Koncept for beslutningsstøttesystem som kan vejlede om integreret ukrudtsbekæmpelse

Niels Holst, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Baggrund

Arbejdshypotesen for dette systemudviklingsarbejde var, at det er muligt at designe software, som kan understøtte både strategiske og taktiske valg i integreret ukrudtsbekæmpelse. Det forventedes, at dette design ville kunne udmøntes i et konkret softwaredesign i form af moduler, objekter, logik, datastrømme og use-cases, samt i en beskrivelse af de tekniske muligheder for implementering. Imidlertid blev det under arbejdet klart at et så konkret softwaredesign, udviklet alene på baggrund af teoretiske overvejelser og formodninger om brugssituationen, ikke ville være nyttigt. I nutidens softwareindustri udvikles designet løbende samtidigt med implementeringen og i tæt kontakt med brugen, for eksempel i forskellige varianter af *agile software development* (Martin, 2006). Det kan forekomme naturligt at det første trin i et softwareudviklingsprojekt er udfærdigelse af en detaljeret produktbeskrivelse, inden implementeringen går igang, men både de første teoretiske overvejelser (Royce, 1970) og de senere erfaringer (f.eks. Martin, 2006) har vist, at denne tilgang ikke fungerer.

På denne baggrund præsenteres derfor i det følgende ikke et konkret, sammenhængende softwaredesign for et beslutningsstøttesystem til integreret ukrudtsbekæmpelse. I stedet præsenteres de koncepter og overvejelser, som nødvendigvis må indgå i udviklingen af et sådant system, og der præsenteres idéer til videre forfølgelse.

Eksisterende beslutningsstøttesystemer til ukrudtsbekæmpelse har en kortere tidshorisont end nødvendigt for at udføre integreret ukrudtsbekæmpelse. Typisk anvises den optimale anvendelse af herbicider i forhold til den aktuelle dyrkningssituation. Imidlertid skal flere aspekter inddrages i integreret ukrudtsbekæmpelse – ikke blot herbicider, men også andre bekæmpelsesmetoder samt sædskifte, ukrudtets populationsdynamik og herbicidresistens.

Perspektiverne for anvendelsen af systemer til beslutningsstøtte, varsling og monitorering er blevet udredt i en nylig rapport, ikke blot for ukrudt, men for alle skadevoldere i dansk landbrug, gartneri og frugtavl (Axelsen *et al.* 2012). Rapporten kan således danne grundlag for udviklingen af nye koncepter for beslutningsstøttesystemer til integreret ukrudtsbekæmpelse (i det følgende benævnt "BSS-ukrudt").

Rapporten (Axelsen *et al.* 2012) anbefaler, at det forsøges at inddrage mere af ukrudtets biologi i de modeller, som ligger til grund for BSS-ukrudt. Dette skulle muliggøre mere generelt anvendelige modeller og ikke mindst, en mere langsigtigt beslutningshorisont. Med samme formål efterlyses inddragelse af vejret i BSS-ukrudt samt af konkurrencedynamikken mellem afgrøde og ukrudt. Rapporten indeholder også skematiske udkast til de modeller, som et BSS-ukrudt skulle være opbygget af, herunder adgang til databaser med modellens parameterverdier og aktuelle vejrdata og vejrprognoser.

I det følgende analyseres de systemudviklingskoncepter, som skal tages i anvendelse for at sikre, at et nyt BSS-ukrudt både vil være nyttigt. Først introduceres modellens rolle i konstruktionen af BSS-ukrudt. Dernæst præsenteres de tre primære brugergrupper af BSS-ukrudt, deres forudsætninger, krav og ønsker, henholdsvis landmænd, konsulenter og embedsmænd. Den agronomiske model er det videnskabelige grundlag for BSS-ukrudt. Derfor beskrives forskerens rolle i udviklingen af BSS-ukrudt. BSS-ukrudt hviler fagligt både på agronomi på datalogi. Derfor beskrives ukrudtmodellernes rolle i BSS-ukrudt, og BSS-ukrudt beskrives som det software det er. Som eksempel på et vellykket BSS-ukrudt præsenteres det australske RIM med forslag til tilpasning til danske forhold. Endeligt opsummeres anbefalinger til udviklingen af fremtidens BSS-ukrudt.

Analysen er baseret på synspunkter og erfaringer, som ikke er nye, men som ikke tidligere er sat i denne sammenhæng (se Beck *et al.*, 2001; Cousens 1987, 1995; Freckleton *et al.*, 2008; Holst *et al.*, 2007; Oreskes *et al.*, 1994).

Modeller i beslutningsstøtte

Enhver lærebog om modellering forklarer, at det første skridt, man skal tage, er at definere det problem, som modellen skal bidrage til at løse (f.eks. Haefner, 2005). I vores sammenhæng er problemet, hvordan vi kan udvikle et BSS-ukrudt til at sikre anvendelsen af bæredygtige strategier for ukrudtsbekæmpelse. En bæredygtig strategi sætter vi til at være en, der sikrer en stabil indtægt til landmanden, en stabil primærproduktion og et acceptabelt niveau for forringelsen af det naturlige økosystem. I konventionelt jordbrug vil dette sige en velgennemtænkt anvendelse af herbicider. Det rette kemikalie bør anvendes, men kun når det er nødvendigt og i rette dosis, på rette tidspunkt og sted. I økologisk jordbrug er landmanden tvunget til at anvende en bredere vifte af mindre effektive bekæmpelsesmetoder, normalt i en kombination (Barberi, 2002). I alle tilfælde vil landmanden have gavn af at forebygge ukrudt ved at anvende et varieret sædskifte og et varieret udvalg af bekæmpelsesmetoder (Buhler, 2002; Colbach & Debæke, 1998; Gressel, 2011).

Hvad er proceduren for udvikling af bæredygtige bekæmpelsesstrategier? Ideer til nye strategier opstår ud fra erfaring, enten i praksis eller i forskning. Nye strategier kan afprøves på forsøgsstationer eller af landmændene selv, enten enkeltvis eller i landmændenes interessegrupper. Landbrugskonsulenter fungerer som formidlere, der bringer en vis mængde praksis ind på forsøgsstationerne, og som bringer en vis mængde videnskab ind i landmændenes egne forsøg. De redskaber, der anvendes til planlægning af forsøg og til fortolkning af resultaterne, omfatter statistik og simuleringmodeller.

Udtrykket ”modellering” bruges ofte ret upræcist om simuleringmodeller, selv om statistik også formuleres i form af modeller. Men mens statistiske modeller er statiske beskrivelser af data, er simuleringmodeller dynamiske. I datalogien ansues softwareobjekter såsom simuleringmodeller ofte som væsner, der lever i computeren; de er karakteriseret ved deres adfærd og kan endda tillægges egne intentioner (Dennett, 1989).

Simuleringmodellers opførelse beskrives ved hjælp af matematik og logik i et programmeringssprog. Både statistiske modeller og simuleringmodeller kan anvendes til forudsigelse, men simuleringmodeller har en langt rigere adfærd og er udstyret med langt flere knapper, hvormed man kan ændre deres adfærd og indstille dem til at simulere bestemte scenarier. I sammenligning synes statistiske modeller tørrere, men da de har et solidt teoretisk grundlag, er de langt bedre egnede til matematisk analyse, for eksempel af statistisk usikkerhed (Haefner, 2005).

Under forudsætning af, at simuleringmodellen udstyres med en god brugergrænseflade, kan en simuleringmodel af ukrudtsbekæmpelse muligvis blive et nyttigt redskab til udvikling af nye strategier for ukrudtsbekæmpelse. Spørgsmålet er, hvorledes et sådant BSS-ukrudt skal fungere i forhold til slutbrugere, som er landmænd, konsulenter og beslutningstagere. Den grundlæggende vanskelighed består i, at værktøjet nødvendigvis må kombinere elementer fra to forskellige fagområder: ukrudtsøkologi og datalogi. I det følgende overvejes brugssituation for BSS-ukrudt for forskellige slutbrugere.

Landmanden som beslutningstager

I hvilken situation skulle landmanden anvende BSS-ukrudt? BSS-ukrudt vil næppe blive anvendt i marken, da dets formål er at udvikle og planlægge bekæmpelsesstrategier. Marken er blot det sted, hvor disse strategier bliver udført i praksis. På kontoret kunne BSS-ukrudt bruges som et redskab, når landmanden planlægger strategien for ukrudtsbekæmpelsen i de kommende sæsoner (se f.eks. Planteværn Online: Strategi for en vækstsæson). Men for at et sådant planlægningsredskab skal kunne fungere i praksis, må det omfatte bekæmpelse ikke blot af ukrudt, men også af andre

skadevoldere; dem skal der ligeledes lægges strategi for (Norris *et al.*, 2003). Endvidere skal bedriften medtænkes som en økonomisk enhed og tilgængeligheden af ressourcer i form af forbrugsmidler, maskiner og arbejdskraft medregnes. Endelig arbejder landmænd i et fag, der er begrænset af en voksende samling lovmæssige restriktioner, indlejret i en kompliceret økonomisk incitamentsstruktur. Disse regler, årsager og virkninger skal også tages i betragtning.

For landmanden er ukrudtsbekæmpelse altså blot ét blandt mange vilkår på bedriften, og vi må finde ud af, hvorledes et BSS-ukrudt bedst kobles sammen med IT-systemerne i øvrigt, såsom regnskabs- og bedriftsledelsessoftware, og e-kommunikation med myndighederne. Med så mange værktøjer, der skal integreres og virke i praksis, er vi selvsagt nøde til at inddrage landmanden i udviklingen af BS-Ukrudt allerede fra starten.

Hvis vi forestiller os BSS-ukrudt som software, der arbejder smidigt sammen med et større planlægningssystem, er det op til den ukrudtsøkologiske ekspertise at definere de modelknapper, som landmanden kan dreje på for at opstille scenarier og mål for den ønskede strategi til ukrudtsbekæmpelse. BSS-ukrudt vil så vejlede landmanden og sikre, at der vælges en bæredygtig strategi.

Ensidige sædskifter er den grundlæggende årsag til mange ukrudtsproblemer (Liebman & Dyck, 1993). Derfor vil et intelligent sædskifte være en vigtig del af en hvilken som helst bæredygtig strategi for ukrudtsbekæmpelse. Valget af afgrøde kan nemt komme til at blive styret af kortsigtede økonomiske mål. Symptomerne på overdrevent ensidigt sædskifte – eksplosiv ukrudtsdynamik og begyndende herbicidresistens – kan ligge uden for landmandens horisont, ikke på grund af uvidenhed, men på grund af manglen på overbevisende argumenter. For landmanden som virksomhedsejer er det bedste argument økonomisk. Derfor skal BSS-ukrudt udtrykke, hvordan ukrudtsproblemer, der er forårsaget af ensidige sædskifter, kan oversættes til økonomiske tab (Pannell & Zilberman, 2001).

Udstyr til præcisionsjordbrug, der målretter bekæmpelsestaktikken efter ukrudtets lokale forekomst i marken, er langsomt ved at blive udviklet og udnyttet erhvervsmæssigt (f.eks. Berge *et al.*, 2012). Uanset hvor præcist og imponerende sådant udstyr er, er dets anvendelse dog begrænset af mængden og kvaliteten af den viden, der er om netop den mark, hvor udstyret skal anvendes. På den fremtidige præcisionsbedrift kan man forestille sig, at information om bedriftens tilstand overvåges konstant og automatisk, og at denne information flyder direkte ind i beslutningsstøttesoftware som for eksempel BS-Ukrudt. I dette scenarie vil BSS-ukrudt blot være én blandt mange komponenter og ukrudtsøkologi blot være ét blandt mange fagområder; datalogi, ingeniørvidenskab og økonomi vil være endnu vigtigere for at opfylde denne vision.

Konsulentens rolle som beslutningstager

ET BSS-ukrudt, som skitseret oven for, vil være et redskab til ukrudtsbekæmpelse på bedriftsniveau. Ud over landmanden vil landbrugskonsulenten også kunne anvende et sådant BSS-ukrudt til at betjene sine kunder. I dag udfører konsulenter for eksempel allerede mange regnskabsopgaver, der i princippet kunne udføres på bedriften.

Imidlertid vil konsulenten ofte også gerne kunne male med en bredere pensel. BSS-ukrudt kunne således anvendes til at opstille generelle bekæmpelsesscenarioer, der vedrører regionen, forskellige bedriftstyper og vejrliget. De forslag, der fremkommer ud fra fortolkning af modellens output, kunne så blive systematiseret og præsenteret i nyhedsbreve, som landmændene kunne bruge som udgangspunkter for deres egen strategi. Fordelen ved denne anvendelse af BSS-ukrudt er, at landmændene skånes for de tekniske sider ved at betjene systemet. Desuden kunne softwaren have et mere generisk design og en mere krævende brugergrænseflade. Begge dele ville lette udviklingen af BSS-ukrudt, en proces i hvilken konsulentens rolle ville være en integreret del. Endvidere vil

konsulenten sandsynligvis i højere grad end landmanden prioritere funktionalitet frem for brugervenlighed, idet konsulenten vil blive en ekspertbruger.

For konsulenten ville der ligge yderligere en mulighed i at anvende BSS-ukrudt som et undervisningsredskab. I en sådan anvendelse skulle softwaren tilpasses, så den ville være lettere at bruge, og så at den ville passe ind i et bestemt undervisningsparadigme. I dette tilfælde ville landmændene ikke nødvendigvis tage modellen med sig hjem som software, men som viden, der er tilegnet ved leg med modellen, som beskrevet for den australske RIM-model (Pannell *et al.*, 2004). Dette er måske en af de nemmeste implementeringer af BSS-ukrudt. Ukrudtsøkologer kan da fokusere på den rette beskrivelse af ukrudtet, mens softwareeksperter tilføjer spilelementerne.

Computerspil definerer kunstige verdener, som bevidst skabes, således at spillerne nemt accepterer spillets begrænsninger i forhold til virkeligheden. I BSS-ukrudts verden kunne ukrudt måske defineres som det onde og den bæredygtige strategi som den hellige gral. Eller hvad nu landmændene og konsulenterne i brugergruppen ville definere som et spændende og relevant spil. Når alt andet end ukrudtsbekæmpelse skæres væk, vil landmændene kunne lære de generelle ukrudtsøkologiske principper at kende. Senere vil de så kunne integrere den tilegnede viden i deres strategier for ukrudtsbekæmpelse.

I RIM-modellen (Pannell & Zilberman, 2001) er landmandens beslutningsunivers reduceret til bekæmpelse af blot én ukrudsart nemlig rajgræs, som er det største ukrudtsproblem i Australien. Brugeren ("spilleren") af RIM bliver givet en række virkemidler i hænde, såsom herbicider, stubafbrænding, sædskifte med videre – i alt omfattende 17 kemiske og 18 ikke-kemiske metoder. Hvert virkemiddel er underlagt begrænsninger for, hvor ofte det kan anvendes både inden for en sæson og over en årrække, og nogle virkemidler kan begrænse anvendelse af andre. Spilleren skal således løse et mangedimensionelt puslespil, som i høj grad afspejler hverdagssituationen til trods for spillets simplificering af landmandens virkelighed. Blandt de mange målparametre er spillerens økonomiske overskud. Når RIM anvendes som en del af et ERFA-gruppemøde, så opstår der hurtigt konkurrence mellem de forskellige hold om at få den maksimale profit (Monjardino, pers. kom.). Mest væsentligt evaluerer et stort flertal oplevelsen som positiv, og deltagerne tilkendegiver, at de har ændret opfattelse af ukrudtsbekæmpelse, som de nu ser som en bredere problematik end før (Pannell *et al.*, 2004). RIMs design beskrives kort i afsnit 7.9.

Embedsmanden som beslutningstager

Herbicidresistens bekæmpes bedre på regionalt niveau end på bedriftsniveau, idet prisen for herbicidresistens betales af alle landmænd i en region og ikke kun af den landmand, der fremprovokerede udviklingen af den. Styringen af herbicidresistens drejer sig om at gange en meget lille risiko for udvikling af resistens med et meget stort tal, der repræsenterer ukrudtsbestandens størrelse (Gressel & Segel, 1990). BSS-ukrudt kunne tage fat på dette problem via beslutningstagere i embedsværket. Disse beslutningstagere ville have brug for modelberegninger til at formulere nøjagtige retningslinjer eller begrænsninger for dyrkning af afgrøder, der ville resultere i den rette mængde af diversitet i systemet til at beskytte mod herbicidresistens.

Der stilles ofte krav om begrænsninger i herbicidanvendelsen som et middel til at mindske negative miljøpåvirkninger. For at føre det politiske argument igennem har beslutningstageren brug for BSS-ukrudt til at forudsige, om en mindsket herbicidanvendelse ville gøre ukrudtsbekæmpelse ubæredygtig. Da ethvert tab, som landmændene lider, skal vejes op mod de forbedringer, der er opnået i miljøet, kan disse betragtninger ikke føres frem udelukkende ved numerisk optimering. Der er behov for politisk stillingtagen til at afveje omkostninger mod fordele.

Forskeren som udvikler af beslutningsstøtte

Det bliver ofte fremhævet som en fordel ved simuleringmodeller, at de kan bruges til at teste bekæmpelsesscenarier billigt i software uden de udgifter, som praktiske markforsøg indebærer

(Holst *et al.*, 2007). Men hvis en model, for eksempel indlejret i BSS-ukrudt, skulle foreslå en radikalt ny indfaldsvinkel til bekæmpelse, ville det være de færreste landmænd, der vil ændre strategi af den grund alene. Modeller kan altså anvendes i forskningen til at identificere nye strategier, men disse strategier skal stadig afprøves i forsøg, inden de kan indgå i praksis og i den suite af strategier, som er indeholdt i BSS-ukrudt.

Simuleringsmodeller er også gode til undervisning (Pozo-Barajas *et al.*, 2013). Teoretiske begreber og praktiske betragtninger bliver mere levende, når de sættes ind i en ramme af dynamiske modeller, som de studerende kan bruge til virtuelle forsøg i simulerede miljøer. Indfaldsvinklen med BSS-ukrudt-spillet, som blev foreslået til træning af landmænd, gælder også for undervisning på højere læreanstalter. Det grundlæggende spil ville sandsynligvis være det samme, men der ville blive forventet et større teoretisk input fra de studerende. For eksempel kunne studerende definere deres egne modeller til strategier for ukrudtsbekæmpelse og lade dem kæmpe mod hinanden i BSS-ukrudt for at finde ud af, hvilken strategi der ville vinde. At lade forskellige modeller kæmpe mod hinanden i åben konkurrence for at finde den bedste har været anvendt inden for biologisk spilteori (Axelrod & Hamilton, 1981).

Ukrudtsmodellerne i beslutningsstøtte

Den matematiske model, som er indlejret i BSS-ukrudt, skal repræsentere virkeligheden, baseret på aktuel viden fra teori og praksis. Modellen skal have den rette detaljeringsgrad for at kunne svare på brugerens spørgsmål, og den skal indbefatte de essentielle egenskaber af det virkelige system. Modellører er ofte så bekvemmeligt anlagt, at de lægger for stor vægt på deres foretrukne emner og ser bort fra andre kilder til kompleksitet (Holst *et al.*, 2007). Hvorfor for eksempel antage, at landmænd har ubegrænset tid og udstyr til rådighed og ikke har andre skadevoldere end ukrudt at bekymre sig om (Norris *et al.*, 2003), når en hvilken som helst landmand ville finde dette absurd? Hvorfor antage, at vejret hvert år vil være gennemsnitligt (Cousens, 1995), når vi ved, at det præcise tidspunkt for nedbør er afgørende for resultatet af konkurrencen mellem afgrøde og ukrudt? Hvorfor overveje dynamikken i en gennemsnitlig kvadratmeter af en mark, når vi ved, at ukrudt vokser i klumper (Cousens & Woolcock, 1997)? Hvorfor se bort fra, hvad der sker med de få ukrudtsplanter, der overlever behandling; når det trods alt er det dem, der viderefører generne (Dekker, 1997)? Modellører må lære, at det at oplyse, hvilke antagelser der ligger bag en model, blot er en nødvendig, men ikke tilstrækkelig, betingelse for at opstille fornuftige modeller.

Tænk på en perfekt model. Den forudsiger ukrudtsdynamikken præcist, når den afprøves mod historiske data. En følsomhedsanalyse viser imidlertid, at vejret er den altafgørende faktor. I dette tilfælde har modellen givet en værdifuld indsigt i ukrudtsøkologi, men i mange områder i verden kan den ikke anvendes som et redskab til forudsigelse, da vejret ikke er til at forudsige nogle få uger frem, og da vejret på de forskellige årstider kan variere markant fra år til år. Selvom vi ikke har set mange modeller, der nærmer sig det perfekte, så ved vi med sikkerhed, at resultatet af konkurrencen mellem afgrøde og ukrudt i mange systemer afhænger af vejret på en særdeles ikke-lineær (voldsom og abrupt) måde (Stratonovitch *et al.*, 2012). I ukrudtssystemer, som er meget uforudsigelige på grund af vejret, er det en særlig udfordring at udarbejde et brugbart BSS-ukrudt.

Frøprædationen i en mark kan variere mellem 0 % (Enkegaard *et al.*, 2010) og 80 % (Westerman *et al.*, 2008). Der er kun ringe kendskab til årsagerne til denne variation. Men hvis vi ved, at frøene fra nogle ukrudtsarter bliver liggende på jorden i ugevis efter høst, har vi så virkelig brug for en model til at fortælle os, at vi ikke kan se bort fra frøprædation, selv når vi endnu ikke er lykkedes med at forudsige den? Vi burde faktisk i sådanne tilfælde dreje forskningens fokus mod frøprædatorerne (insekter og fugle) og inddrage entomologer og ornitologer. Lad dem foretage modelleringen af frøprædatorerne, deres tilstedeværelse, deres appetit og deres effektivitet i at finde og æde ukrudtsfrø. For ukrudtsarter, som afhænger af større agroøkosystemsammenhænge, som for eksempel forekomsten af fugle og insekter, bliver det svært at foretage en realistisk afgrænsning af modellerne i BSS-ukrudt.

Nogle forskere har tilbragt det meste af deres karriere med at forstå frøs spirehvile, måske endda for blot nogle få plantearter. Som modellør på et mere overordnet niveau er det bekvemt at se bort fra denne kompleksitet, men derved kan modellen miste sin sammenhæng med virkeligheden. Måske kan man for arter med kompleks spirehvile begynde med gennemsnitlige værdier af de parametre, der beskriver spirehvilen. Dernæst fortsætter man ved at tilføje en varians til disse gennemsnitsværdier, og man måler vigtigheden af de forskellige parametre ud fra modellens output. Men rent tilfældig spiring (gennemsnit±variens) er blot en blandt mange strategier for frøspirehvile. Langt mere komplicerede mekanismer er kommet for dagen (Dekker *et al.*, 2001). Som særegne for arten og kun delvis forståede bliver de ikke nødvendigvis så nemme at fastholde i en models formalisme. Ukrudtsarter med kompleks spirehvile bliver svære at inkludere i BSS-ukrudt.

Softwaren i beslutningsstøtte

Beslutningsstøttesystemer og simuleringmodeller er ofte komplicerede softwarekonstruktioner. Modeller af ukrudtsbekæmpelse udvikles oftest af agronomer og biologer, somme tider med inddragelse af økonomer og sjældnere endnu med inddragelse af dataloger. Softwarens kompleksitet, kombineret med modellørernes naivitet, er imidlertid en udbredt kilde til dårligt software design i simuleringmodeller (Merali, 2010). Dette går ud over både den faglige kvalitet og brugbarheden af softwaren. Derfor er det vigtigt, at BSS-ukrudt udvikles efter en standard systemudviklingsmetode som for eksempel *agile software development* (Martin, 2006). For at bedømme modellens kvalitet må den have været igennem et *peer review* ligesom en videnskabelig artikel, og den må være *open source* for at modellens kode kan granskes (Holst, 2013).

De forskellige brugergrupper, der er skitseret ovenfor, vil stille forskellige krav til brugergrænsefladen: hvordan man konkret interagerer med modellen, hvilke input der er nødvendige, hvilke output der er til rådighed, og hvordan de præsenteres. Ofte falder den brugergruppe, der sigtes mod, sammen med ens egen, som for forskeren, der udvikler modeller til brugere i den akademiske verden. Men for de brugere, der er i fokus for BSS-ukrudt, er et direkte samspil med målgruppen under hele softwareudviklingsprocessen et *sine qua non*. Ellers vil der ikke være nogen brugere endsig købere til det færdige produkt (Beck *et al.*, 2001).

RIM: EN E-læringsplatform til integreret ukrudtsbekæmpelse

RIM er en e-læringsplatform udviklet i Australien som et læringsværktøj i integreret ukrudtsbekæmpelse (Pannell *et al.*, 2004). Softwaren udgøres af et dynamisk regneark, som fører brugeren gennem simple trin, hvorved dyrkningssystemet defineres, og resultatet i form af udbytte, dækningsbidrag og ukrudtets bestandsdynamik beregnes. RIM anvendes som undervisningsværktøj på temadage og ERFA-gruppemøder for landmænd, og der er lagt stor vægt på at anvende begreber og praktiske metoder, som landmændene finder relevante, og som kan indgå i sammensætningen af strategier for integreret ukrudtsbekæmpelse.

Hvis vi ser på, hvorledes et RIM-lignende system kunne udvikles til danske forhold, er den væsentligste forskel, at RIM fokuserer på blot én ukrudtsart. I Danmark har vi en mere sammensat ukrudtsflora med flere potentielle problemarter. Det vil derfor være en udfordring både landbrugs- og IT-fagligt at udvikle et RIM-værktøj til danske forhold, men det synes at være muligt på det nuværende vidensgrundlag. I det følgende gives en oversigt over de elementer i dyrkning og ukrudtsbekæmpelse, som brugeren skal jonglere med i det nuværende RIM samt forslag til supplerende elementer i en dansk RIM-version, baseret på viden fra litteraturen og fra nærværende projekt. Skærbillederne fra RIM viser standardopsætningen af systemet.

I trin 1 skal mark, afgrøder og bekæmpelsesmetoderne defineres. Parametrene omfatter både dyrkningsmæssige, praktiske og økonomiske aspekter (figur 1):

1. DEFINE Paddock



Main parameters

<table border="1"> <tr> <td>Weed-free yields</td> <td>2.0</td> <td>2.2</td> <td>1.3</td> <td>1.0</td> <td>t/ha</td> </tr> <tr> <td>Grain prices</td> <td>220</td> <td>200</td> <td>550</td> <td>240</td> <td>\$/t</td> </tr> </table>	Weed-free yields	2.0	2.2	1.3	1.0	t/ha	Grain prices	220	200	550	240	\$/t	<table border="1"> <tr> <td>Production costs</td> <td>40</td> <td>40</td> <td>5</td> <td>\$/ha</td> </tr> <tr> <td>Fodder prices</td> <td>90</td> <td>80</td> <td>50</td> <td>\$/t</td> </tr> </table>	Production costs	40	40	5	\$/ha	Fodder prices	90	80	50	\$/t	<table border="1"> <tr> <td>Animal Gross Margin</td> <td>30</td> <td>\$/DSE</td> </tr> </table>	Animal Gross Margin	30	\$/DSE
Weed-free yields	2.0	2.2	1.3	1.0	t/ha																						
Grain prices	220	200	550	240	\$/t																						
Production costs	40	40	5	\$/ha																							
Fodder prices	90	80	50	\$/t																							
Animal Gross Margin	30	\$/DSE																									
<table border="1"> <tr> <td>Yield benefit from dry seeding</td> <td>5 %</td> <td>2 %</td> <td>10 %</td> <td>5 %</td> </tr> <tr> <td>Yield loss if delayed seeding</td> <td>10 %</td> <td>5 %</td> <td>20 %</td> <td>10 %</td> </tr> </table>	Yield benefit from dry seeding	5 %	2 %	10 %	5 %	Yield loss if delayed seeding	10 %	5 %	20 %	10 %	<table border="1"> <tr> <td>Operation cost of sprayer</td> <td>4.5</td> <td>\$/ha</td> </tr> <tr> <td>Average area cropped</td> <td>2 000</td> <td>ha</td> </tr> </table>	Operation cost of sprayer	4.5	\$/ha	Average area cropped	2 000	ha	<table border="1"> <tr> <td>Mature ryegrass last spring:</td> <td>5</td> <td>plant/m²</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Low</td> <td>Medium</td> <td>High</td> </tr> </table>	Mature ryegrass last spring:	5	plant/m ²		Low	Medium	High		
Yield benefit from dry seeding	5 %	2 %	10 %	5 %																							
Yield loss if delayed seeding	10 %	5 %	20 %	10 %																							
Operation cost of sprayer	4.5	\$/ha																									
Average area cropped	2 000	ha																									
Mature ryegrass last spring:	5	plant/m ²																									
	Low	Medium	High																								

Control options

		Wheat & Barley	Canola & Legumes	Pastures	Wheat & Barley	Canola & Legumes	Pastures	
Enter herbicide names, cost and % ryegrass controlled:		Cost (\$/ha)			% of ryegrass controlled			
Knock-down herbicides	Glyphosate	6	6	4	95%	95%	95%	
	Paraquat	8	8	6	95%	95%	95%	
Double-knock		Glyphosate/Paraquat	12	12	10	100%	100%	100%
Pre-emergence herbicides	Trifluralin	12	12		70%	70%		
	Group B	5			85%			
	Sakura	35			90%			
	Boxer Gold	30			85%			
Post-emergence herbicides	Triazine		10	5		70%	50%	
	Group A	18	10	10	70%	60%	40%	
	Triazine		8			70%		
	Triaz + Gp A		14			80%		
	Glyphosate		8			85%		
		Group B		12			65%	
Enter additional control options:								
Spring options	Define 1st spring option	10	10	10	70%	70%	70%	
	Define 2nd spring option	10	10	10	70%	70%	70%	
Harvest options	Define 1st harvest option	10	10	10	70%	70%	70%	
	Define 2nd harvest option	10	10	10	70%	70%	70%	

More prices... More options...

Save Profile

Paddock name: Default
 Your name: Susceptible

SAVE	LOAD	
SAVE	LOAD	
SAVE	LOAD	Resistant, Non-selective
SAVE	LOAD	Resistant, Gp. A B C
CLEAR	LOAD	Susceptible, Default

FIGUR 1.

TRIN 1 I RIM-MODELLEN: VALG AF MARK, AFGRØDER OG BEKÆMPELSESMETODER (FRA WWW.AHRI.UWA.EDU.AU/RESEARCH/RIM).

Nederst på siden ses muligheder for at definere alternative bekæmpelsesmetoder ("additional control options"). I Australien kan det for eksempel være stubafbrænding.

For danske forhold skulle der udarbejdes et større katalog af muligheder, som man her kunne slå op i og vælge iblandt:

- Forsinket såtidspunkt. Vi fandt, at forsinket såning kan nedsætte spireevnen af ukrudtsfrø (AP2), samt at det kan forbedre afgrødens konkurrenceevne i forhold til ukrudtet (AP3). Dette stemmer over ens med tidligere undersøgelser (Chikowo *et al.*, 2009).
- Vi fandt, at mellem- og efterafgrøder har en ringe ukrudtseffekt (AP4), hvorfor man bør udelukke disse to metoder.
- Ved litteraturestudium kortlagde vi en lang række ikke-kemiske løsninger til bekæmpelse af frøukrudt (tabel 9), som alle bør indgå i bekæmpelseskataloget.

I RIMs trin 2 (figur 2 defineres sædskiftet samt den ønskede kombination af de bekæmpelsesmuligheder, som man definerede i trin 1):

2. BUILD Strategy

Your current paddock is:
Susceptible, Default



RIM
Ryegrass

Choose enterprise and control options:	Yr 1	Yr 2	Yr 3	Yr 4	Yr 5	Yr 6	Yr 7	Yr 8	Yr 9	Yr 10
	Wheat	Barley	Canola	Wheat	Barley	Canola	Volunt.	Wheat	Barley	Canola
Time of sowing	Delayed	Dry	Dry	Wet	Delayed	Dry		Dry	Delayed	Dry
Soil preparation										
Knock-down / Double-knock	Glyphosate				Paraquat		Glyphosate		Glyphosate	
Pre-emergent herbicide	Trifluralin	Sakura	Trifluralin	Trifluralin	Boxer Gold	Trifluralin		Sakura	Boxer Gold	Trifluralin
Establishment system	No-till	No-till	No-till	No-till	No-till	No-till		No-till	No-till	No-till
Crop seeding rate	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard		Standard	Standard	Standard
Post-emergent herbicide 1	Group A		Triaz + Gp A		Group A	Triaz + Gp A		Group A		Triaz + Gp A
2										
3										
Grazing intensity							Standard			
Spring options							Topping			
- Swathe			With Spray			With Spray				With Spray
- Others										
Harvest options - Crops	Narr+B.		Narr+B.	Narr+B.		Narr+B.		Narr+B.		Narr+B.
- Others										
Mature ryegrass setting seed	17	16	3	11	2	0	0	0	0	0
Seeds in soil next autumn (m ²)	73	290	41	42	26	4	3	1	2	0
Gross margin (\$/ha)	\$169	\$222	\$455	\$256	\$169	\$492	\$31	\$246	\$209	\$521

Save & Load ?

Strategy name:
Wheatbelt standard

	SAVE	LOAD
	SAVE	LOAD
	SAVE	LOAD
Mid West sta	SAVE	LOAD
Sth Coast sta	SAVE	LOAD
HWSC	SAVE	LOAD
Default	LOAD	

Show more Clear all

FIGUR 2.

TRIN 2 I RIM-MODELLEN: VALG AF SÆDSKIFTE OG BEKÆMPELSESMETODER (FRA WWW.AHRI.UWA.EDU.AU/RESEARCH/RIM).

Der er ingen tvivl om, at sædskiftet i sig selv er meget vigtig i integreret ukrudtsbekæmpelse (fx Bohan *et al.*, 2011), og at det derfor er et essentielt element i RIM.

I det tredje og sidste trin i RIM, som ikke vises her, præsenteres brugeren for resultatet af hans strategi. Det meget simple softwaredesign af RIM vil kunne bibeholdes i en dansk RIM, men det ville være nødvendigt at tilføje et trin, hvor brugeren kan vælge den relevante ukrudtssammensætning.

Anbefalinger

- BSS-ukrudt skal udvikles efter en standard systemudviklingsmetode som for eksempel *agile software development*.
- BSS-ukrudt skal defineres og udvikles i samspil med slutbrugeren (landmand, konsulent, embedsmand).
- BSS-ukrudt til landmænd skal indtænkes i landmandens praktiske og administrative hverdag.
 - BSS-ukrudt kan samarbejde med administrativt software
 - BSS-ukrudt kan samarbejde med præcisionsmaskiner
 - BSS-ukrudt kan anvendes både taktisk (bekæmpelse) og strategisk (forebyggelse)
 - BSS-ukrudt bør indtænke foreskomst og forebyggelse af herbicidresistent ukrudt
 - BSS-ukrudt bør indregne økonomiske konsekvensberegninger
 - BSS-ukrudt bør indregne miljømæssige konsekvensberegninger
- BSS-ukrudt til konsulenter skal inddrage konsulentens aktuelle funktioner, men også bringe nytænkning
 - BSS-ukrudt kan anvendes af konsulenten i vejledningssituationen
 - BSS-ukrudt kan anvendes som et redskab til undervisning af landmænd
 - BSS-ukrudt kan formes som et computerspil til indlæring ved leg/samvær/konkurrence
- BSS-ukrudt til embedsmænd skal fokusere regionalt og langsigtet
 - BSS-ukrudt kan anvendes til forebyggelse af herbicidresistes
 - BSS-ukrudt kan anvendes til reduktion af miljøpåvirkninger
 - BSS-ukrudt kan indregne økonomiske konsekvensberegninger
 - BSS-ukrudt kan indregne miljømæssige konsekvensberegninger
- Modeller til BSS-ukrudt skal være videnskabeligt baserede og tilpasset formålet med BSS-ukrudt
 - Teoretiske modeller kan kun anvendes, hvis de er grundigt empiriske afprøvede
 - Teoretiske modeller, som er udviklet til forklaring af biologiske sammenhænge, kan ikke forventes umiddelbart at være anvendelige i BSS-ukrudt

- Modeller skal tage form efter BSS-ukrudts formål og ikke efter forskerens dagsorden
- Modellerne i BSS-ukrudt skal være veldokumenterede og bør være *open source* for at sikre gennemsækelighed og videnskabelig granskning.
- Det australske RIM-software er et godt udgangspunkt for et dansk BSS-ukrudt.

Referencer

- Axelrod R & Hamilton WD. (1981). The evolution of cooperation. *Science* 211: 1390-1396.
- Axelsen J et al. (2012). Udredning om monitorings-, varslings- og beslutningsstøttesystemer for skadevoldere i planteproduktionen i landbrug, gartneri og frugtavl. Miljøprojekt nr. 1407. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- Barberi P. (2002). Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* 42: 177-193.
- Beck K et al. (2001). Manifesto for Agile Software Development. www.agilemanifesto.org.
- Berge TW, Goldberg S & Kaspersen K et al. (2012). Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 81: 79-86.
- Bohan DA, Powers SJ, Champion G, Haughton AJ, Hawes C, Squires G, Cussans J & Mertens SK. (2011). Modelling rotations: can crop sequences explain arable weed seedbank abundance? *Weed Research* 51, 422-432.
- Buhler DD. (2002). Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science* 50: 273-280.
- Chikowo R, Faloya V, Petit & Munier-Jolain NM. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132, 237-242.
- Colbach N & Debaeke P. (1998). Integrating crop management and crop rotation effects into models of weed population dynamics: a review. *Weed Science* 46: 717-728.
- Cousens RD. (1987). Theory and reality of weed control thresholds. *Plant Protection Quarterly* 2:13-20.
- Cousens RD. (1995). Can we determine the intrinsic dynamics of real plant populations? *Functional Ecology* 9:15-20.
- Cousens RD & Woolcock JL. (1997). Spatial dynamics of weeds: an overview. In: *Proceedings 1997 Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, pp. 613-618.
- Dekker J. (1997). Weed diversity and weed management. *Weed Science* 45: 357-363.
- Dekker J, Lathrop J, Atchison B & Todey D. (2001). The weedy *Setaria* spp. phenotype: How environment and seeds interact from embryogenesis through germination. BCPC International Conference on Weeds, Brighton, England, 12-15 November 2001, pp.65-74.
- Dennett DC. (1989). *The Intentional Stance*. MIT Press.
- Enkegaard A, Holst N & Kudsk P. (2010). Naturlig ukrudtsbekæmpelse: Hvilken betydning har faunaens fortæring af ukrudtsfrø? Projekt rapport for Jullerupfonden, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.
- Freckleton RP, Sutherland WJ, Watkinson AR & Stephens PA. (2008). Modelling the effects of management on population dynamics: some lessons from annual weeds. *Journal of Applied Ecology* 45: 1050-58.
- Gressel J. (2011). Global advances in weed management. *Journal of Agricultural Science* 149: 47-53.
- Gressel J & Segel LA. (1990). Modelling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology* 4: 186-198.
- Haefner JW. (2005). *Modelling Biological Systems*, 2. udgave. Springer Verlag.
- Holst N. (2013). A universal simulator for ecological models. *Ecological Informatics* 13: 70-76.
- Holst N, Rasmussen IA & Bastiaans L. (2007). Field weed population dynamics: a review of model approaches and applications. *Weed Research* 47: 1-14.
- Liebman M & Dyck E. (1993). Crop-rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3: 92-122.
- Martin RC. (2006). *Agile Software Development: Principles, Patterns, and Practices*. Prentice Hall.
- Merali Z. (2010). Why scientific programming does not compute. *Nature* 467: 775-777.
- Norris RF, Caswell-Chen EP & Kogan M. (2003). *Concepts in Integrated Pest Management*. Prentice-Hall.
- Oreskes NK, Shrader-Frechete K & Belitz K. (1994). Verification, validation, and confirmation of numerical models in the early sciences. *Science* 263: 641-646.
- Pannell DJ & Zilberman D. (2001). Economic and sociological factors affecting growers' decision making on herbicide resistance. In: D.L. Shaner and S.B. Powles (eds.) *Herbicide Resistance and World Grains*, CRC Press, pp. 251-277.
- Pannell DJ, Stewart V, Bennett A, Monjardino M, Schmidt C & Powles SB. (2004). RIM: A Bioeconomic Model for Integrated Weed Management of *Lolium rigidum* in Western Australia. *Agricultural Systems* 79: 305-325.
- Planteværn Online (www.ipmdss.dk). Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

- Pozo-Barajas R, del Populo Pablo-Romero M & Caballero R. (2013). Evaluating a computer-based simulator program to teach the principles of macroeconomic equilibria. *Computers & Education* 69: 71-84.
- Winston R. (1970). Managing the development of large software systems. *Proceedings of IEEE WESCON, August 1970*: 1-9.
- Stratonovitch P, Storkey J & Semenov AA. (2012). A process-based approach to modelling impacts of climate change on the damage niche of an agricultural weed. *Global Change Biology* 18: 2071-2080.
- Westerman PR, Andjelkovic J, Liebman M & Danielson B. (2008). Density-dependent predation of weed seeds in maize fields. *Journal of Applied Ecology* 45: 1612-1620.

Integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder

Formålet med projektet at undersøge mulighederne for at udvikle og implementere integreret ukrudtsbekæmpelse i landbrugsafgrøder. Projektet viste, at sædskifte, kulturtekniske tiltag samt radrensning i rækkeafgrøder er tiltag, som vil kunne mindske afhængigheden af herbicider.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk