



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

**Sprøjte- og
præcisionsteknologi
for reduktion af jord-
brugets forbrug af
plantebeskyttelsesmidler
En status for udvikling, barrierer
og forslag til videre handling.**

Miljøprojekt nr. 1981

Februar 2018

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Michael Nørremark, Aarhus Universitet
Poul Henning Pedersen, SEGES

ISBN: 978-87-93614-67-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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

1.	Forord	4
2.	Sammenfatning	5
3.	Status for de teknologiske muligheder for at anvende intelligent sprøjteudstyr	12
3.1	Spektral reflektansmåling med sensorer	12
3.2	Ultralydssensor til bestemmelse af biomasse	14
3.3	Artsbestemmelse med kamerasystemer	15
3.4	Satellitovervågning	15
3.5	Drone til kortlægning og sprøjtning	16
3.6	Injektionssprøjter	16
3.7	Sprøjtecomputere, terminaler og GIS-værktøjer	17
3.8	GPS til sektionskontrol, enkeltdysekontrol og autostyring	18
3.9	Avanceret sprøjteteknologi	18
3.10	Smartphone, iPad, Tablet applikationer (Apps)	20
3.11	Båndsprøjter	20
4.	Udfordringer og barrierer	22
4.1	Generelle barrierer	22
4.2	Barrierer for jordbrugere, konsulenter og virksomheder	23
4.3	Anvendelse af afgrødesensorer	23
4.4	Anvendelse af droner	24
4.5	Båndsprøjter	24
5.	Udfordringer vedrørende teknologiudvikling	25
5.1	Den Intelligente Sprøjtebom	25
5.2	Digital planteartgenkendelse	27
5.3	Ukrudts- og tildelingskort ved hjælp af luftfotos og billedbehandling	29
5.4	Graduering af herbicider	30
5.5	Graduering af fungicider og vækstregulering	31
6.	Handlingsforslag	33
6.1	Anvendt forskning	33
6.2	Implementering i jordbruget	35
7.	Litteratur	36
8.	Ordforklaring	41

1. Forord

Intelligent sprøjteudstyr og præcisionssprøjtning i jordbruget kan bidrage til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler. Rapporten gennemgår de teknologiske muligheder, status for disse anno 2017, beskriver udfordringer og barrierer, samt giver forslag til, hvordan øget anvendelse af sådanne teknologier kan opnås.

Der sker en hastig teknologiudvikling på IT- og sprøjteteknikområdet, som på sigt kan bane vej for en langt højere præcision ved udbringning af plantebeskyttelsesmidler. Mange teknologier bliver afprøvet i projekter med støtte fra forskellige tilskudsordninger, og der er interesse blandt en del jordbrugere for at investere i nye teknologier. Der er fortsat en række barrierer, der skal overvindes, før de nye teknologier for alvor kan implementeres. Rapporten omtaler teknologier, som vedrører sprøjteteknologi til landbrugsafgrøder.

SEGES og Aarhus Universitetet har udarbejdet rapporten i et samarbejde foranlediget af Miljøstyrelsen. Projektleder har været Poul Henning Petersen, SEGES, og Michael Nørremark, AU, Institut for Ingeniørvidenskab. Medvirkende til udarbejdelsen har været Peter Kryger Jensen, AU, Anne Marie Thierry, SEGES, Rita Hørfarter, SEGES, Jens Erik Jensen SEGES, Jens Elbæk, SEGES og Henning Sjørsløv Lyngvig, SEGES (pr. 1/5-2017 DM&E Agro). Kontaktperson hos Miljøstyrelsen har været Anita Fjelsted, Pesticider og Biocider, Miljøstyrelsen.

Rapporten er opdelt i 8 afsnit. Indledningsvis er rapportens resultater og konklusion samlet i en sammenfatning. De følgende afsnit beskriver forskellige teknologier, herunder det udviklingstrin som de har opnået. Derefter gives i afsnit 4 en vurdering af udfordringer og barrierer for implementering i jordbruget. I afsnit 5 vurderes potentialer for udvikling af en række nye teknologier. Endelig er der i afsnit 6 opstillet forslag til tiltag, som kan styrke implementeringen af teknologierne i jordbruget. Kildehenvisningerne er angivet i afsnit 7. Flere kilder er også angivet med links direkte i teksten. En del af de mange fagudtryk og forkortelser er forklaret nærmere i afsnit 8 'Ordforklaring'. En særlig tak til Lene Hegelund fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug for hendes værdifulde korrekturlæsning af rapporten.

2. Sammenfatning

Der er udviklet en lang række sprøjte- og præcisionsteknologier, som potentielt kan målrette og reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler i landbruget. Teknologierne er på meget forskellige udviklingstrin. Flere GPS-baserede systemer har allerede en udbredt anvendelse til at opnå en præcis tildeling af plantebeskyttelsesmidlerne og giver en reduktion i forbruget på 5-10 procent afhængig af tidligere præcision ved kørsel og markernes geometriske form. Andre teknologier har vist deres potentialer i forsøgsparcer og kræver en betydelig modning før der kan forventes et kommercielt produkt på markedet. Manglende dokumentation for at opnå økonomiske gevinster ved investering i ny teknik og et betydeligt besvær med at få teknikkerne til at fungere i praksis, er væsentlige barrierer for implementering af sprøjte- og præcisions-teknologier. Der er et stort behov for at etablere en ramme, hvor interessenter på området kan indgå i et forpligtende samarbejde rettet mod at få teknologierne til at fungere nemt og problemfrit hos jordbrugere.

Baggrund og formål

Målet med dette projekt har været at skabe et overblik over sprøjteteknik og monitorings-teknologier, kommercialiserede såvel som forskningsresultater, som på kort sigt giver mulighed for at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler ved bekæmpelse af ukrudt, sygdomme og skadedyr samt brug af vækstreguleringsmidler i jordbruget.

I landbrugsafgrøder spreder ukrudt, sygdomme og skadedyr sig ud over marker og påvirker afgrødernes vækstbetingelser og sundhed. Bekæmpes disse skadevoldere ikke rettidigt, vil det resultere i reduceret afgrøde kvalitet og udbytte. Dette medfører økonomiske tab og potentielt tab af næringsstoffer som følge af lavere udbytte.

Mest udbredt er bredsprøjtning med bomsprøjter, hvor hele marker sprøjtes med ensartet dosering for at sikre, at ingen skadevoldere undgår plantebeskyttelsesmidlerne. Det er dog alment kendt, at skadevoldere og specielt ukrudt ikke altid forekommer jævnt fordelt ud over de enkelte marker, men derimod forekommer i større eller mindre områder i marker, og nogle gange optræder de enkelte ukrudtsarter i specifikke områder (Gerhards & Christensen, 2003; Nordbo & Christensen, 1995; Wallinga, 1995). Derfor har det i dette projekt været formålet at vurdere *state-of-the-art* og *proof-of-concept* teknologier, som kan monitorere og målrette plantebeskyttelsesmidler til de enkelte skadevoldere og i en dosering, som er tilpasset arter, antal og vækststadiet.

Anvendelse af teknologier, som reducerer og graduerer forbrug af plantebeskyttelsesmidler, har været en mulighed i flere år. Nye teknologier er kommet til, men integrationen med typisk dyrkningspraksis er ikke udbredt i et omfang, hvor det vil få effekt på nedbringelse af forbruget af plantebeskyttelsesmidler. Visionen er, at teknologierne bliver en ligeså integreret del af dyrkningspraksis som den nuværende praktisering af reduceret dosis i forhold til normal (fuld) dosering. Reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler opnås i den forbindelse på baggrund af beslutningsstøtte, rådgivning og lokalt kendskab og erfaring med reducerede doseringer.

Undersøgelsen af teknologier

Overordnet kan der skelnes mellem to tilgange for anvendelse af intelligent sprøjteudstyr til at udbringe bekæmpelsesmidler: 1) En kortbaseret tildeling, hvor der ved hjælp af forskellige metoder udarbejdes et kort, hvorefter udbringningen af plantebeskyttelsesmidlerne sker på basis af denne kortlægning, 2) Realtids tildeling, hvor data for vegetation, biomasse og/eller ukrudtsarter registreres og analyseres i samme arbejdsgang, som tildelingen sker. I projektet er der beskrevet relevante sprøjte- og præcisionsteknologier, som samtidig er blevet vurderet for deres individuelle potentiale for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler.

De seneste 10-15 år er der sket en markant udvikling af sprøjteteknologi i kategorien for reduktion af afdrift af sprøjtevæske og bedre afsætning af sprøjtevæske på sprøjtemålet. Det er teknologier som automatisk bomhøjdestyring, variabel dysekontrol (både for gradueret udbringning og for bedre fordeling ved horisontale bombebevægelser), automatisk dyseskift og ikke mindst dyseteknologi. Kendt teknologi i samme kategori er bomsprøjter forsynet med luftledsagelse og luftsprøjter. Sprøjteførerens viden om valg af dyser for afdriftsreduktion og bedre afsætning af plantebeskyttelsesmidler på sprøjtemålet er allerede udbredt gennem deltagelse i opfølgingskurser for sprøjteførere og ved erhvervelse af sprøjtecertifikat. Lovgivning og information i forbindelse med reduktion af afstandskrav til vandmiljøer og §3-områder ved anvendelse af afdriftsreducerende sprøjteteknik har også bidraget. Korrekt dysevalg under de givne forhold for de enkelte sprøjteopgaver har også betydning for, hvor lave doseringer der kan vælges. Dosering vurderes fra sprøjteopgave til sprøjteopgave, og det er derfor ikke muligt at anslå en egentlig effekt af dysevalg på reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler. I praksis vil en sprøjtefører skifte til anden dyse, hvis risikoen for afdrift er for høj eller konsekvent anvende en dyse, som erfaringsmæssigt fungerer uden risiko for afdrift under gældende lokale forhold. Introduktionen af kompakt luftinjektionsdysen er en nyere dyseteknologi, som reducerer afdriftsrisikoen til niveau med alm. luftinjektionsdyser, mens dækningen på sprøjtemålet er bedre og opretholder samme effekt ved de fleste sprøjteopgaver. For typen luftsprøjter (luft som forstøvningsteknik) og typen bomsprøjter forsynet med luftledsagelse kan det stadig konstateres, at der opnås en mindre men sikker forøgelse af effekt, når sidstnævnte type anvendes i kombination med fladsprededyser eller luftinjektionsdyser. Trykluft som led-sagelse eller som forstøvningsteknik kan ved korrekt brug opretholde god fordeling ved højere vindhastigheder og højere fremkørselshastigheder.

Markedsførte teknologier som GPS-baseret autostyring og enkeltdysekontrol, 25 cm dyseafstand samt automatisk bomhøjdestyring på almindelige bomsprøjter åbner op for helt nye muligheder for at sammensætte og introducere båndsprøjtningssystemet med langt større kapacitet end hidtil opnået med den traditionelle båndsprøjtningsteknologi. Ved at anvende standarddyser med passende spredvinkel, lav bomhøjde, automatisk bomhøjdestyring og eventuel 'skråtstilling' af dyser i forhold til den normale montering i dyseholderen, er det muligt at sprøjte i smalle bånd. Konceptet er ikke markedsført af sprøjtefabrikanter endnu. I rækkeafgrøder vil båndsprøjtning kunne reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler markant ved samtidig anvendelse af nyere, mekaniske radrensningsteknologier med stor arbejdsbredde og kapacitet.

Det har været muligt at finde frem til 3 forskellige typer af sensorer; refleksion, ultralyd og artsgenkendelse med kamera, hvor de to førstnævnte estimerer og indekserer vegetationsdækning og/eller biomasse, og hvor sidstnævnte derudover skelner mellem et begrænset antal afgrødearter, enkimbladet og tokimbladet ukrudt. Der er maskin- og dronemonterede sensorer, samt satellitter, som måler refleksion af lysstråler fra solen eller fra en diodelampe, integreret med den monterede sensor, som ved måling samtidig lyser på vegetationen, hvorefter der beregnes et indeks for biomassen. Af tabel 1 fremgår vurderinger af mulige reduktioner i anvendelsen af visse plantebeskyttelsesmidler, som man vil kunne opnå ved de plantebeskyttelsesopgaver, hvor det er mest oplagt at anvende et biomasseindeks eller vegetation dækningsgrad, samt artsbestemmelse med kamera, til graduering af plantebeskyttelsesmidlerne. Vurderingen er uafhængig af, om der er tale om kortbaseret eller real-tidsbaseret graderet udbringning af plantebeskyttelsesmidler. Reduktionspotentialer afhænger af hvor stor variationen i behov der er ud over marken.

Teknologier som droner, injektionssprøjter, sprøjtecomputere, terminaler, GIS-værktøjer samt Smartphone/iPad/Tablet applikationer (Apps) er alle vurderet at have indirekte potentialer for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler. De nævnte teknologier er alle en form for hjælpemidler ved graderet udbringning af plantebeskyttelsesmidler, hvis potentialer for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler er vist i tabel 1.

TABEL 1. Anslået reduktion i behovet for plantebeskyttelsesmidler og merudbytte ved graderet udbringning af plantebeskyttelsesmidler fordelt på typer af opgaver og teknologier. Reduktion er udtryk for anslået difference mellem behovet for plantebeskyttelsesmidler før og efter introduktion af teknologi, uden ændring af andre parametre.

Sensortype	Opgave	Anslået reduktion i behovet for plantebeskyttelsesmidler	Anslået merudbytte
Refleksion	Glyphosat ukrudtssprøjtning	10-20 %	0
Refleksion/Ultralyd	Svampebekæmpelse i korn	0 %	0,5-1 %
Refleksion/Ultralyd	Vækstregulering i korn	5-10 %	0,5-1 %
Refleksion	Ukrudtssprøjtning i vintersæd	5-10 %	0
Refleksion/Ultralyd	Nedvisning i kartofler	20-30 %	0
Kamera med artsbestemmelse	Ukrudtssprøjtning i vintersæd	10-20 %	0
GPS med autostyring og/eller sektionskontrol	Alle sprøjteopgaver	5-10 %	0

Udfordringer og barrierer

Der er udfordringer og barrierer for anvendelse af de tilgængelige præcisionsteknologier, som kan reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler (tabel 2). Den første forudsætning for, at nye teknologier bliver taget i anvendelse, er, at der kan opbygges en kommerciel efterspørgsel. Typisk for højteknologi i jordbruget er der behov for en periode, hvor produktet modnes til at kunne anvendes i praksis. Der er også behov for at leverandører og rådgivere kan understøtte teknologien, herunder efteruddannelse og tilstrækkelig teknisk backup. Sidstnævnte beror på udfordringen med at involvere de kommercielle leverandører, så produkterne bliver færdigudviklet og anvendelige i praksis. Brugervenlighed, minimalt tidsforbrug og funktionalitet skal være i orden. Der har vist sig store problemer med at få udstyr og software til at fungere

sammen, selv om producenterne har fulgt gældende standarder. Der kan for eksempel opstå manglende kommunikation til sensor eller tildelingskort, hvis en enhed (traktor, terminal eller sprøjte) udskiftes. Der er mange præcisionsteknologier på markedet. En væsentlig udfordring er, at mange teknologier kun kan anvendes til en bestemt opgave. I det øjeblik udstyr og software kan anvendes til mange opgaver, bliver rentabiliteten forbedret og brugeren får lettere ved at blive fortrolig med at anvende udstyret.

Nærværende projekt viser, at flere forskellige sensorer er udviklet og kommercialiseret til måling af ukrudtsdækning, biomasse og til digital genkendelse af plantearter. Desuden forskes i, om multi- og hyperspektrale kameraer kan anvendes til at observere plantesygdomme på tidlige udviklingsstrin. Udfordringen er, at sensorernes udviklingsgrad dels er foran udviklingen inden for datakommunikation på landbrugsmaskiner og GIS værktøjer (manglende fleksibilitet/plug-and-play), og dels foran den agronomiske viden om udnyttelsen af teknologierne. Der er simpelthen ikke nok viden om praksis, effekt og økonomi til at kunne inddrage præcisions-teknologi som integreret del af rådgivningen. Udfordringen er, at teknologierne skal være velafprøvede og dokumenterede, før det er attraktivt at implementere dem på bedrifterne, herunder at få dem med i udviklings- og investeringsplaner. Graderet udbringning af kalk på grundlag af jordprøver og tildelingskort er et godt eksempel på, hvordan det over tid er lykkedes at udbrede præcisions-teknologi i jordbruget netop på grund af opnået almen viden om effekt, økonomi og praktisk anvendelighed.

TABEL 2. Sammenfatning af de væsentligste udfordringer og barrierer for at fremme sprøjte- og præcisions-teknologier i jordbruget grupperet inden for bedriftsøkonomiske, agronomiske og teknologiske udfordringer og barrierer.

Udfordringer og barrierer	
Gruppe	Kort beskrivelse
Bedriftsøkonomisk	1. Potentielt øget tidsforbrug for anvendelse af præcisions-teknologier i forbindelse med sprøjtning accepteres ikke. Rettidighed har højeste prioritet i praksis.
	2. Svært at gennemskue de samlede udgifter for licenser, abonnementer og nødvendig teknisk support for at få adgang til funktioner og opdateringer. Specielt et problem når udstyret har været anvendt i nogle år.
	3. En trængt økonomi i jordbruget vil i nogen udstrækning hindre investeringer i avanceret teknologi, medmindre der er en klar økonomisk gevinst.
Agronomisk	1. Uvished om hvilke kommercielle og <i>proof-of-concept</i> teknologier som på kort sigt og i praksis har potentiale for at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler under hensyntagen til bedriftsøkonomi.
	2. Konkret viden om og erfaring med praktisk anvendelse af forskellige sprøjte- og præcisions-teknologier er spredt og særskilt hos jordbrugere, sprøjteførere, rådgivere, samt maskinforhandlere og -importører.
	3. For få undersøgelser som viser et potentiale for at udnytte sprøjte- og præcisions-teknologierne, både i forhold til udbytte, reduktion i behov for plantebeskyttelsesmidler, tidsforbrug og på bedriftsniveau.
	4. Avancerede teknologier er ikke altid færdigudviklede og anvendelige i praksis.
	5. Manglende udviklingssamarbejde mellem planteavlserådgivere, eksperter, og kommercielle leverandører af sprøjte- og præcisions-teknologi således produkterne bliver færdigudviklede og anvendelige i praksis inden markedsføring.

	6. Manglende viden om og implementering af processerne for udnyttelse af indsamlede data til reduktion af behovet for plantebeskyttelsesmidler. 'Håndfri' databehandling og beslutningsstøtte forventes af kommende præcisionsteknologier.
Teknologisk	<p>1. Nogle sprøjte- og præcisionsteknologier kan forekomme komplicerede og med tekniske problemer. Tekniske problemer skal brugeren selv være i stand til at løse ved en igangværende sprøjteopgave. Tendensen er, at kun de mest teknologi interesserede jordbrugere investerer i præcisionsteknologi med et formål at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler.</p> <p>2. Sensorteknologier understøtter typisk kun anvendelse for én bestemt opgave, selvom de i teknologisk forstand kunne anvendes til flere markopgaver. I det øjeblik sensor, terminal og software kan anvendes til flere opgaver, bliver rentabiliteten samt brugerens fortrolighed med udstyret forbedret</p> <p>3. Præcisionsteknologier er typisk sammensat af flere dele fra forskellige producenter som påtager sig garanti og service for de dele, som de er producenter af. Det er derfor svært for jordbrugere at søge teknisk service på systemniveau.</p> <p>4. Implementering af automatiserede løsninger for registrering af ukrudtsarter, sygdomme og skadedyr. Systemer som registrerer tokim- og enkimbladet ukrudt er ikke markedsført i Danmark.</p> <p>5. Udfordringer ved udarbejdelse af tildelingsskort og agronomisk oversættelse af data fra sensorer og satellitter.</p> <p>6. Kravet til reaktionstid på injektionssystemer defineret af agronomiske forhold er ikke opnået endnu, selvom reaktionstider på injektionssystemer er forbedret de senere år.</p> <p>7. Det er endnu ikke praktisk muligt at monitere og målrette plantebeskyttelsesmidler til de enkelte skadevoldere i en dosering, som er tilpasset arter, antal og vækststadiet. Fremgangsmåden vil bevirke den største reduktion i behovet for plantebeskyttelsesmidler.</p> <p>8. Praktisk anvendelse af droner ifbm. tildelingskort eller direkte pletsprøjtning er for nuværende begrænset af lovgivning, kapacitet, opsætning og datahåndtering.</p> <p>9. Båndsprøjter har i forhold til marksprøjter lav kapacitet. Båndsprøjtning som en ekstra funktion på almindelige marksprøjter er for nuværende ikke en mulighed.</p> <p>10. Opbygning af kommerciel efterspørgsel, dvs. at skabe et behov for teknologierne for bredden og ikke kun for enkelte jordbrugere er afgørende for om innovative teknologier bliver taget i anvendelse.</p>

Handlingsforslag for implementering af sprøjteteknik og præcisionssprøjtning i alm. dyrkningspraksis og forskning

Rapporten opsummerer nogle af de resultater, som national forskning er kommet frem til igennem flere projekter omhandlende sprøjte- og præcisionsteknologi. De udfordringer, som stadig driver forskningen og udviklingen, er at optimere på teknologier for udbringning af plantebeskyttelsesmidler, således at midlerne rettes direkte mod målet, dvs. rammer ukrudt, svampesygdomme og skadedyr lokalt, hvor de forekommer og er identificeret. Dette betragtes som den ypperste præcision inden for udbringning af plantebeskyttelsesmidler.

Det er en udfordring at udpege nogle kommercielle og *proof-of-concept* teknologier med potentiale for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler. Rapporten har til formål at give

nogle forslag til mulige handlinger og projekter, som kan understøtte udvikling og implementering af de sprøjte- og præcisionsteknologier, som er udfordret kommercielt og i praksis. Handlingsforslagene er herunder inddelt efter teknologi og afsluttes med et afsnit om implementering af teknologier og metoder i jordbruget.

Vinklede dyser

Et eksempel på at der kan være kort vej fra forskning til praksis er vinklet sprøjteteknik, som har vist sig at kunne forbedre bekæmpelsen af nogle betydningsfulde græsukrudsarter med bladmidler i tidlige stadier. Senest har indledende forsøg med bekæmpelse af sygdomme i kartofler med vinklet sprøjteteknik også vist lovende resultater. Vinklede dyser er kommercielt tilgængelige, men der skal imidlertid findes en teknisk løsning, således at vinklede dyser kan bruges på eksisterende sprøjter uden væsentlige omkostninger og besvær med at skifte mellem sprøjteteknikker til forskellige opgaver.

Gradueret udbringning af ukrudtsmidler

Før metoden kan implementeres i praksis, udstår en dokumentation for sammenhæng mellem afgrødeudvikling og doseringsbehov. For hver opgave, hvor doseringsbehovet viser sig at afhænge af afgrødens eller ukrudtets biomasse, skal der beskrives en algoritme for tilpasning af dosering. For at sikre implementering i praksis skal der foreligge velbeskrevne metoder til registrering af afgrødens-/ukrudtets udviklingstrin og procedurer for at udforme tildelingskort. Der er behov for viden og rådgivning om, hvordan gradueret sprøjtning skal praktiseres. Det foreslås, at der igangsættes projekter, hvor flerårige forsøg med manuel monitorering af ukrudt og afgrødebiomasse sammenlignes med monitorering ved hjælp af sensorer, både markedsførte og *proof-of-concept* produkter fra tidligere forskningsprojekter.

Artsbestemt sprøjtning

Det foreslås, at de i rapporten beskrevne sensorer for artsbestemmelse af afgrøde, tokimbladet og enkimbladet ukrudt afprøves i flerårige forsøg. Det er vurderingen, at sensorerne nu er tilstrækkeligt udviklet mht. billedkvalitet og billedfrekvens. Det kan forventes, at sensorerne og sprøjteteknologien om få år er så rationaliseret, tilpasset og markedsført i DK, at det bliver interessant for jordbrugere at investere i. Forsøgenes formål bør dels være at undersøge sensorernes muligheder og begrænsninger ifht. reduktion i forbruget af ukrudtsmidler, og dels at opbygge tilstrækkelig viden til at kunne rådgive om teknologierne, når de er 'modnet' i tilstrækkelig grad til at blive rentable for jordbrugere at investere i. I forskningen er der udviklet flere lovende *proof-of-concept* kamerabaserede systemer til artsbestemmelse af plantearter. Systemerne er bygget op omkring de nyeste metoder inden for både 'machine vision' og 'machine learning', hvor 22 arter indtil videre nu kan artsbestemmes i løbet af mindre end et sekund. Det vil være relevant at medtage disse *proof-of-concept* systemer i forsøgene, da det må formodes at blive de næste generationer af systemer til automatisk planteartsbestemmelse. Sådanne projekter vil kunne understøtte processen med at implementere teknologierne, når de er klar til markedsføring.

Gradueret udbringning af svampe- og vækstreguleringsmidler

Det foreslås, at den nævnte kommercielle sensor AgriCon P3 samt MobilLas sensoren, som måler bladareal og biomasse samtidig, afprøves i flerårige forsøg. Den dansk udviklede og patenterede MobilLas sensor bestemmer biomassen mere præcist end nogen anden sensor på markedet (Thomsen, 2006, 2007). Den vil være mulig at anvende ved gradueret udbringning af svampe- og vækstreguleringsmidler. Ligeledes er det rationelt for en jordbruger, at MobilLas også kan anvendes til præcisionsgødsning. Claas E-systems Culti Cam kameraet vil også kunne anvendes til at estimere LAI, og bør derfor vurderes ifbm. gradueret udbringning af svampe- og vækstreguleringsmidler på linie med MobilLas sensoren. Claas E-systems Culti Cam kameraet er anvendt i forsøgene i GUDP projektet 'Graduering af fungicider og herbicider i kartofler og korn'.

Gradueret udbringning af ukrudtsmidler i rækkeafgrøder

Teknologier, som er tilpasset konstant sprøjtning af afgrøderækker samtidig med gradueret sprøjtning af ukrudt mellem afgrøderækker, vil være oplagt med nuværende muligheder for opbygning af sprøjtebomme og sensorer. Der er mulighed for placering af dyser med 25 cm afstand på kommercielle sprøjtebomme, lav bomhøjde med ultralydssensorer samt flerstrengesystemer og enkeltdysekontrol. Et sådan system giver mulighed for at undersøge for eksempel WeedMaps App'en fra Agro Intelligence Aps og en modificeret udgave af Garford RoboWeed fra Yding Smedie, baseret på disse virksomheders tidligere og lignende forsøgs-konstruktioner. De analyser, som er foretaget inden for de seneste par år, viser potentielle herbicidreduktioner på 65 % i majs og 46 % i kål og radise. De nævnte undersøgelser er foretaget med kommercielt tilgængelig marksprøjteteknologi, herunder dyser og elektromagnetiske ventiler og bomhøjde på 25 cm, og er derfor et *proof-of-concept* med potentiale for produktudvikling.

Implementering i jordbruget

I projekter, der har til formål at implementere de nye teknologier og metoder, bør der fokuseres på at inddrage såvel jordbrugere og deres rådgivere som de forskellige leverandører på en forpligtende måde. Således vil alle parter have et økonomisk incitament i at få sat teknologien i drift. Et forslag er at oprette et rejsehold, som aktivt opsøger jordbrugere med udstyr, som kan anvendes til intelligent sprøjtning. Rejseholdet skal gennem netværksdannelse nyttiggøre den viden, som ligger hos jordbrugere, rådgivere, eksperter, leverandører af udstyr mv. Det vil også bryde barrierer og fremme implementering ved at organisere, samle og formidle viden om gradueret og positionsbestemt tildeling af plantebeskyttelsesmidler gennem efteruddannelse af rådgivere.

Afprøvning af gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler i sribeforsøg vil være en oplagt mulighed for at få dokumentation for effekten og økonomien. Erfaringerne er, at der skal anvendes mange ressourcer til at organisere denne type afprøvning, både til teknisk assistance og til håndtering af data. Konceptet On Farm Forsøg fra Teknologisk Institut/Agro vil være oplagt at inddrage til at samle dokumentation for effekt og økonomi ved brug af gradueret tildeling.

Flere muligheder for projekter som dels afprøver og dels færdigudvikler lovende teknologier og *proof-of-concept* vil styrke den fremtidige implementering. Målet er bedre teknisk support til at få udstyr og software til at fungere problemfrit hos slutbrugeren.

3. Status for de teknologiske muligheder for at anvende intelligent sprøjteudstyr

Af Michael Nørremark, Peter Kryger Jensen, Poul Henning Petersen, Henning Sjørlev Lyngvig, Rita Hørfarter

Sprøjte- og præcisionsteknologi er her defineret som hardware og/eller software, som fordeler plantebeskyttelsesmidler i en landbrugsafgrøde under hensyntagen til faktorer såsom lokalisering af ukrudt, sygdomme og skadedyr eller behov for vækstregulering. I det følgende er forskellige teknologier kort beskrevet og vurderet i forhold til de agronomiske muligheder, der er for at tage dem i anvendelse. Der ses endvidere på efterspørgsel og kommercielle muligheder for leverandører.

Overordnet kan der skelnes mellem to tilgange for anvendelse af intelligent sprøjteudstyr til at udbringe bekæmpelsesmidler:

- En kortbaseret tildeling, hvor der ved hjælp af forskellige metoder udarbejdes et kort, hvorefter udbringningen af plantebeskyttelsesmidlerne sker på basis af denne kortlægning.
- Realtids tildeling, hvor data for vegetation, biomasse og/eller ukrudtsarter registreres og analyseres i samme arbejdsgang, som tildelingen sker.

3.1 Spektral reflektansmåling med sensorer

Sensorer måler refleksion af lysstråler fra solen eller fra en diodelampe på vegetation, hvorefter der beregnes et indeks for biomassen. Det er typisk en fabriks hemmelighed, hvorledes sensorerne eksakt måler, men generelt gælder for sensorerne, at de måler nogle få udvalgte bølgelængder, som giver et godt udtryk for grøn vegetation opgivet som biomasse såvel som dækningsgrad (tabel 3).

TABEL 3. Oversigt over mest almindelige optiske afgrødesensorer markedsført i DK

Sensorbetegnelse	Beskrivelse
Yara N-sensor	Yara N-sensor registrerer biomasse i bånd på 3 meter på hver side af køresporet. Den findes i to udgaver - en ældre model, der kræver dagslys og en nyere, der kan måle døgnet rundt. Yara har udviklet tildelingsalgoritmer, som både kan anvendes til gødningstildeling og graduering af visse plan-tebeskyttelsesmidler.
GreenSeeker	GreenSeeker monteres normalt på bommen. Hver sensor måler i et bånd på 1,2-1,5 meter afhængigt af bomhøjde. Styringen sker via Trimble's FmX terminal, som kan håndtere signaler fra op til 6 sensorer. Brugeren indtaster selv, hvordan tildelingen skal ske. Sensoren har egen lyskilde, så den kan fungere hele døgnet rundt.
OptRx	OptRx sensoren markedsføres med to sensorer til en sprøjtebom. Den måler i bånd på 0,8-1 m afhængigt af bomhøjden. OptRx har også egen lyskilde, så den kan fungere hele døgnet. Styringen sker fra en medfølgende terminal, hvor egen tildelingsfunktion kan indtastes.
Fritzmeier	Sensor, som kan monteres på sprøjtebommen, men oftest som selvstændig 6 m bred udfoldelig bom i front af traktoren. Sensorene er udstyret med LED lys, som afgiver lys i forskellige bølgelængder, hvor noget af lyset absorberes af planterne, mens andet reflekteres, hvorved biomasse kan bestemmes. Sensoren har egen lyskilde, så den kan fungere hele døgnet rundt.

Siden 2014 har det været muligt for større landbrug at opnå miljøteknologistøtte til investering i nye sprøjter udstyret med afgrødesensorer (Landbrugsstyrelsen, 2017). For at understøtte anvendelsen af disse sensorer har SEGES på basis af forsøg, afprøvninger og erfaringer foreslået at anvende sensorer til følgende plantebeskyttelsesopgaver i praksis (Petersen, 2013):

- Glyphosat før høst i korn og raps
- Svampesprøjtning i korn
- Vækstregulering i korn og frøgræs
- Nedvisning af kartofler og andre afgrøder
- Supplerende ukrudtssprøjtning i vintersæd om foråret

For de fleste af disse opgaver er test, dokumentation og vejledning begrænset med hensyn til at opnå effekt og økonomi ved anvendelsen af sensorer. Den bedst belyste anvendelse af sensorer er nedvisning af kartofler (Pedersen, 2003). Der er gennemført flere projekter og undersøgelser med sensorgraduering af svampe- og vækstreguleringsmidler (Bjerre et al., 1998, 1999; Pedersen, 2003, 2009; Olesen et al., 2008) men i forhold til det omfang, disse anvendelser af plantebeskyttelsesmidler har, er det et meget uudviklet grundlag at rådgive ud fra.

Graduering af planteværnsmidler med sensorteknologi har været et tema hos en af IPM-værterne i IPM rådgivnings- og demoprojektet 2010-2015. For eksempel har driftsleder Morten Toft sammenfattet fem års erfaringer således: *"Selv om vi har arbejdet meget med gradueret tildeling af både ukrudts-, svampe- og vækstreguleringsmidler, synes vi, at der er mange udfordringer tilbage. En af usikkerhederne ved at graduere dosis er, at vi ikke ser synlige resultater i markerne og således ikke får bevis for, at gradueringen giver et højere udbytte. Teknikken skal være nem at bruge, og vi vil gerne have vished for, at det gavner bundlinjen"* (Petersen og Pedersen, 2015). Det er ikke usandsynligt, at andre jordbrugere med praktiske erfaringer med sensorteknologier generelt deler Morten Toft's betragtninger med hensyn til graduering af

plantebeskyttelsesmidler. Derfor er der i forbindelse med IPM rådgivnings- og demonstrationsprojektet 2010-2015 udarbejdet følgende inspirationsark:

1. Investering i sensorer til gradueret sprøjtning (Petersen, 2016a)
2. Sensorgraduering af plantebeskyttelsesmidler (Petersen, 2016b)

Af tabel 4 herunder fremgår vurderinger af mulige reduktioner i anvendelsen af visse plantebeskyttelsesmidler, man med nogen sandsynlighed vil kunne opnå ved de opgaver, hvor det er mest oplagt at anvende sensorer eller satellitdata til graduering af plantebeskyttelsesmidlerne. Reduktionspotentiale afhænger af hvor stor variationen i behov er ud over marken.

TABEL 4. Anslået reduktion i behovet for plantebeskyttelsesmidler og merudbytte ved gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler fordelt på typer af opgaver. Reduktion er udtryk for anslået difference mellem behovet for plantebeskyttelsesmidler før og efter introduktion af teknologi, uden ændring af andre parametre.

Opgave	Anslået reduktion i behovet for plantebeskyttelsesmidler	Anslået merudbytte
Glyphosat før høst i afgrøder til foder	10-20 %	0
Svampebekæmpelse i korn	0 %	0,5-1 %
Vækstregulering i korn	5-10 %	0,5-1 %
Ukrudtsprøjtning i vintersæd (forår)	5-10 %	0
Nedvisning i kartofler	20-30 %	0

3.2 Ultralydssensor til bestemmelse af biomasse

P3 US sensor fra Agri Con (Agri Con GmbH, Ostrau, Tyskland) anvendes ved biomassebaseret sprøjtning med vækstregulerings- og svampemidler. Sensoren er ISO-BUS kompatibel, og vil derfor være et ekstraudstyr, der tilsluttes den samme terminal, som styrer de fleste nye marksprøjtter. P3 US sensoren er ikke afprøvet i Danmark. Forsøg viser 8 % reduktion i forbruget af svampemidler ved at regulere dosering efter biomasse og bladareal (Tackenberg et al., 2016). Jensen og Jørgensen (2016) har under danske forhold i 2 ud af 3 år fundet signifikant korrelation mellem biomasseniveau og svampemiddeldosis på hyppigheden af septoria og gulrust i vinterhvede, som betyder behov for stigende dosis ved stigende biomasse. Baseret på disse resultater kan det konkluderes, at der er et potentiale for optimering af svampemiddeldosis ved anvendelse af positionsbestemt biomassemåling og tærskelværdier for bekæmpelse af sygdomme i heterogene vinterhvedemarker.

En P3 US sensor er forprogrammeret til gradueret tildeling af vækstregulerings- og svampemidler, baseret på Agri Con's beslutningsstøttesystem og software integrerede middeldatabase. P3 US sensor software indeholder et beslutningsstøttværktøj, hvor flere forskellige svampe-, vækstregulerings- og ukrudtsmidler er sammensat til doseringskurver i forhold til biomassemålingerne. Biomasse estimeres ud fra en patenteret ultralydssensor, som måler plantehøjde ifht. jordoverflade. Hver enkelt sensor skanner over 4 m bredde. Forsøg udført med en lignende ultralydssensor i hvede i 2007 og 2008 viser R^2 værdier mellem 0,79 og 0,94 (Reusch, 2009) for korrelationen mellem biomasse tørvægt og ultralydsmålinger. Der var effekt af hvedesort og vækststadiet, sandsynligvis forårsaget af sorters og vækststadiers forskellige bladstillinger. Agri Con's egne forsøg over 4 år viser 11-22 % reduktion i forbruget af vækstreguleringsmidler ved at anvende deres beslutningsstøttesystem og biomassemålinger i hvede (Leithold, 2013). Udbyttet var ikke påvirket. Agri Con er partner i Horizon 2020 projektet agriCLOUD, hvor formålet er at videreudvikle deres systemer til et cloud-baseret system, hvor data kan deles via web-services.

Ultralydbaserede sensorer til at regulere dosering af ukrudts, svampe- og vækstreguleringsmidler er ikke markedsført i DK. Andre typer af ultralydssensorer anvendes til automatisk højderegulering af sprøjtebomme.

En anbefaling af systemet til dels at reducere dosis af vækstreguleringsmidler, og dels at graduere svampemidler i Danmark, vil forudsætte, at der gennemføres uafhængige forsøg eller fremlægges data, der kan dokumentere de af firmaet nævnte reduktionspotentialer.

3.3 Artsbestemmelse med kamerasystemer

AgriCon markedsfører en H sensor, og Dimensions Agri Technologies markedsfører en DAT sensor, der begge kan skelne mellem korn, tokimbladet ukrudt og græsukrudt. H sensoren kan udover korn også indstilles til at skelne majs, raps og sojabønne fra tokimbladet- og græsukrudsarter. Begge sensorer har lyskilder monteret, således at kameraerne optager højopløselige billeder såvel i stærk solskin, i overskyet vejr som i mørke. Systemerne kan fungere ved hastigheder op til 12 km/t. DAT sensoren optager 2 billeder pr. sekund, og H sensoren optager op til 10 billeder pr. sekund. H sensoren har desuden en indbygget kalibreringsfunktion, hvorved nye afgrøder og ukrudtsarter kan optages i det interne register. For eksempel er Society of Precision Agriculture of Australia (SPAA) i gang med at teste og kalibrere systemet, så H sensoren tilpasses australske forhold.

De to sensorer har en korrekt klassificering af afgrøderne på 79-94 %, hvor den resterende procentdel er fejlklassificeret som enten afgrøde værende ukrudt (falsk negative) eller ukrudt værende afgrøde (falsk positive) (Leithold, 2014; Kaspersen et al., 2010). Sensorerne klassificerer generelt tokimbladet ukrudt og græsukrudt mindre korrekt end afgrøder.

Agri Con's erfaringer viser reduktioner i forbruget af ukrudtsmidler (i tankblanding) på 35 %, uden udbyttetab ved anvendelse af H-sensor (prototype) i majs i et etårig forsøg (Piotraschke, 2011). Til sammenligning har det Norske institut for bioøkonomi (NIBIO) opnået tilsvarende reduktion i forbrug af ukrudtsmidler fra 22% helt op til 97 % uden udbyttetab ved anvendelse af DAT sensoren (prototype) i vårbyg og vårhvede set i forhold til uniform herbicidsprøjtning i et etårig forsøg (Berge et al., 2012). DAT sensoren kan indstilles med brugerdefinerede og individuelle tærskelværdier for henholdsvis græsukrudt og tokimbladet ukrudt.

Begge kameraer er placeret vinkelret ifht jordoverfladen, billedet dækker 0,2m×0,3m (DAT) og 0,3m×0,3m (H) med billedopløsning på 0,25 mm/pixel (DAT) og 0,5 mm/pixel (H). Sensorerne er normalt monteret på sprøjtebommen med en typisk afstand på 6 m vurderet ud fra diverse produktbrochurer og produktpræsentationer. Ukrudtsregistreringer sker således med en gridopløsning på 6 m på tværs af kørselsretning, men med god overlap mellem registreringer i kørselsretningen. For DAT sensor, som har den laveste billedfrekvens, dog kun ved lavere fremkørselshastigheder.

3.4 Satellitovervågning

CropSAT er et online-system, som tilgås via hjemmesiden cropsat.dk, og som kan levere NDVI-målinger fra satellit. Herfra kan jordbrugere udarbejde og downloade tildelingsfiler, som kan anvendes til styring af gødningstildeling og plantebeskyttelsesmidler. Systemet er udviklet i Sverige, og er fra 2016 gjort tilgængeligt for danske jordbrugere af SEGES i samarbejde med Landbrugsstyrelsen. Undersøgelser, hvor satellitmålinger sammenlignes med traktorborne og håndholdte sensorer viser, at der er god overensstemmelse mellem disse målinger (Söderström et al., 2015).

CropSAT er brugervenligt, idet brugeren nemt finder sine marker, idet CropSat kombinerer ortofoto og markkort. Brugeren kan indtaste ønsket dosis i forskellige områder af marken. Der er endvidere mulighed for at overtegne den automatisk tildelte dosis med nogle få klik på tildelingskortet.

Interessen for anvendelse af CropSAT til graderet tildeling af kvælstof og plantebeskyttelsesmidler har været stor, idet CropSat.dk har registeret brug fra 7.700 IP adresser alene i første halvår af 2016, samt mange henvendelser til SEGES fra potentielle brugere (Rita Hørfarter, SEGES, pers. meddelelse).

Der er et potentiale for at udnytte satellitdata til at analysere dyrkningsmæssige sammenhænge, eksempelvis sædskiftets betydning for udbytte og plantesundhed. Et eksempel på disse muligheder er en analyse af sædskiftets betydning for udbytte i kartofler. Ved at kombinere GIS-data om afgrøder på arealerne ni år tilbage med NDVI-målingerne fra CropSAT kunne der påvises en tæt sammenhæng mellem tidspunkt for afmodning og antal år med kartofler (tidlig afmodning i kartofler kan ses fra satellit) (Bødker, 2016).

3.5 Drone til kortlægning og sprøjtning

Muligheden for at overflyve marker med mindre droner (0-25 kg, Statens Luftfartsvæsen BL 9-4) monteret med forskellige kameratyper og sensorer har givet anledning til undersøgelser, hvor målet er/har været at udvikle metoder til at kortlægge ukrudtsarter og fordeling i marken, således at disse informationer kan anvendes til en gradering af herbicider. Der er endnu ikke udviklet kommercielle anvendelser af droner til at indsamle data til brug ved plantebeskyttelse.

Sprøjtning ved brug af droner

Der findes nu droner med en løfteevne, der har gjort det muligt at bære en sprøjteenhed. Dansk Landbrugsrådgivning Sydhavsøerne har indkøbt en sådan drone og opnået tilladelse til forsøgsmæssig afprøvning. Det er hensigten at teste dronens potentiale for pletsprøjtning mod ukrudt. Et eksempel på, hvordan landbrugsmaskinbranchen satser på droneteknologi, blev påpeget af Rauch Landmaschinenfabrik GmbH som på den seneste AgriTechnica præsenterede Agronator, som er en decideret landbrugsdrone med en løfte-/lastevne på ca. 30 kg.

3.6 Injektionssprøjter

I Danmark har flere sprøjtefabrikanter, men især Danfoil, haft succes med salg af marksprøjter med injektionsudstyr, hvor de koncentrerede bekæmpelsesmidler på vej fra sprøjten vand-tank til dyserne tilsættes sprøjtevæsken i en blandemanifold. Injektionssprøjter kræver, at der fremstilles en koncentreret brugsopløsning af produkter på fast form, hvilket er en ulempe, når behovet i en mark ikke kendes på forhånd, da det kan medføre, at en rest af brugsopløsningen skal opbevares (om muligt) eller bortskaffes efter endt sprøjtning. Dosering af op til 6 forskellige midler kan varieres trinløst hen over marken. Reaktions-tiden, dvs. den afstand sprøjten tilbagelægger fra dosis ændres ved pumpen til ændringen i virkeligheden er sket ude ved dyserne, er forbedret de senere år (Christensen, 2010). En samling af litteratur om injektionssystemer har vist reaktionstider som resulterer i dosis-/middelændring som strækker sig over mere end 50 meter ved normale hastigheder for marksprøjtning (Aissaoui, 2016). Dette forhold er u hensigtsmæssigt under danske forhold (Pedersen og Laursen, 2001). Det forventes at med den nyeste teknologi hvor injektion af bekæmpelsesmidler foregår så tæt på dyser som muligt vil reducere reaktionstiden. Når besparelsen på forbruget af plantebeskyttelsesmidler ved punktbehandlinger skal beregnes, skal der derfor med den nyeste injektionsteknologi tillægges en ekstra behandlingszone på minimum 25 meter i forlængelse før og efter et område for punktbehandling. Denne ekstra behandlingszone kan kompenseres, hvis der udvikles og markedsføres teknologi, der reducerer reaktionstiden yderligere.

En markant forskel mellem injektionssprøjter og almindelige marksprøjter er, at kun nogle få slanger skal gennemskylles ved skift mellem afgrøder, når det drejer sig om injektionssprøjter. På almindelige sprøjter, hvor opblanding sker i tanken, er det nødvendigt med en gennemgribende rengøring for at undgå at skade den afgrøde, der efterfølgende skal sprøjtes med samme sprøjte men med andre plantebeskyttelsesmidler. Det betyder, at rengøringen af injektionssprøjter kan ske betydeligt hurtigere end rengøringen af traditionel sprøjte, hvor tank og slanger skal skylles igennem og derefter rengøres med gennempumpning med rengøringsmiddel.

Kapacitet er en væsentlig faktor for de fleste landbrug og maskinstationer, men ikke mindst for kartoffelavlere, større bedrifter og maskinstationer, som har mange sprøjtetimer i løbet af vækstsæsonen. Sikkerhedsmæssigt er der både fordele og ulemper ved at køre med koncentrerede plantebeskyttelsesmidler på sprøjten. Fordelen ved uheld kan være, at der kan være chance for, at de koncentrerede midler lettere kan opsamles end opblandet sprøjtevæske fra en almindelig sprøjtetank. Ulempen kan i tilfælde af uheld være, at der transporteres en større mængde aktivstof.

Danfoil har i 2012 lanceret et GPS-styret tildelingskoncept til injektionssystemet, hvor dosering fra op til 6 pumper kan gradueres efter et tildelingskort eller efter signal fra sensorer. Anvendelse af teknologien til reduktion af forbruget af plantebeskyttelsesmidler er stadig afhængig af, at der udvikles automatiske systemer til registrering af bekæmpelsesbehovet. En udfordring ved realtids udbringning vil blive, at restmængden i sprøjten kan være vanskelig at forudse, og rester af de opløste produkter derfor enten må bruges op ved ensartet behandling på den sidste del af arealet eller efter endt sprøjtning skal opbevares i anden emballage eller bortskaffes.

3.7 Sprøjtecomputere, terminaler og GIS-værktøjer

Sprøjtecomputere og terminaler

ISOBUS er en datakommunikationsstandard for landbrugsmaskiner. Via en og samme terminal er det med ISOBUS muligt at styre først og fremmest funktioner på traktoren, men samtidig også funktioner på tilkoblede redskaber, sprøjter og (afgrøde)sensorer m.fl. For eksempel er det muligt at anvende ISOBUS kompatible sprøjtecomputere og terminaler med software for sektionafblænding, variabel dosering, indlæsning af tildelingskort, registreringer fra sensorer, samtidig med styring af sprøjtens almindelige funktioner. Korrekt match mellem ISOBUS terminal, sprøjtecomputer og sensor kan være medvirkende til, at brugeren oplever det nemmere at implementere tildelingskort og/eller sensorbaseret tildeling. Det er fabrikanter af landbrugsteknik, som er ansvarlige for, at ISOBUS fungerer i praksis. På grund af erfaringer for problemer med den forventede kompatibilitet, er der oprettet en organisation (Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF)), som forsøger at organisere og dokumentere kompatibilitetstest mellem terminaler, redskaber og sensorer. Det er et forsøg på at hjælpe maskinforretninger med at kontrollere, at brugeren investerer i udstyr, der er kompatibelt.

GIS-værktøjer

AgroGIS (SEGES), Næsgaard Mark (Datalogisk), FarmWorks (Trimble) og SMS (AgLeader) er GIS software, som af rådgivere eller jordbrugere anvendes til manuelt eller automatisk at udarbejde bl.a. tildelingskort. Eksempelvis kan der i AgroGIS automatisk udarbejdes et tildelingskort til udbringning af jordbrugskalk. Programmerne udlæser data i et ESRI filformat ('shapefil') eller ISOXML format, som overfører instruktionerne om tildeling til redskabets terminal.

Det vurderes, at praktisk anvendelse af GIS-værktøjer til udarbejdelse af tildelingskort for plantebeskyttelsesopgaver er minimal, da brugerne mangler redskaber til at anvise graduering af bekæmpelsesbehov.

3.8 GPS til sektionskontrol, enkeltdysekontrol og autostyring

Autostyring baseret på GPS eliminerer overlap ved, at kørelinjerne præcist passer til bredden af sprøjtebommen. Det betyder, at besparelsen af plantebeskyttelsesmidler afhænger af det oprindelige kørselsmønster i marken, idet afstanden mellem kørespor etableret uden GPS kan variere meget afhængig af, hvor præcis kørsel den enkelte traktorfører kan præstere. Der opleves typisk en besparelse for plantebeskyttelsesmidler på 3-5 procent ved autostyring alene.

Med GPS-styret sektionskontrol af dyserne på sprøjtebommen reduceres overlap i markens kiler væsentligt, mens enkeltdysekontrol næsten eliminerer overlap (Larsson et al., 2016). Sektionskontrol foretages typisk i sektioner af ca. 3 meter, hvilket har en stor effekt med bombredder på 24-42 meter. Besparelsen for plantebeskyttelsesmidler ved sektions- og enkeltdysekontrol afhænger meget af markernes geometriske form. Besparelsen kan ved irregulære marker komme op over 5 procent i forhold til manuel åbning og lukning af sektioner på bom-sprøjter (Larsson et al., 2016). Samlet besparelse kan således ofte være 5-10 procent.

For bare 15 år siden var GPS baserede styringer til traktorer, mejetærskere og redskaber slet ikke markedsført (Pedersen, 2005). Der er siden sket en stærk teknologisk udvikling og markedsføring, som har bevirket, at anvendelsen af GPS i jordbruget vokser hurtigt. I 2017 er det hver sjette jordbruger (16 %), som anvender autostyring på traktor eller mejetærsker (Lundø og Larsen, 2017). Jordbrugere som anvender en eller anden teknologi, der styrer maskiner med GPS, dyrker 45 % af det samlede landbrugsareal, mens jordbrugere, der anvender data og information fra satellitter eller droner, står for 9 % af det samlede areal (Lundø og Larsen, 2017).

Blandt de større landbrug skønnes det, at der anvendes sprøjter med sektionskontrol på 30-40 % af landbrugsarealet. Det giver bedst mening at vurdere udbredelsen af disse teknologier efter størrelsen af det areal, hvor de anvendes, frem for antal sprøjter. På baggrund af en fortolkning af Lundø og Larsen (2017) opgørelsen skønnes det, at autostyring og sektionskontrol er på vej til at blive udbredt til størstedelen af det dyrkede landbrugsareal. Det vurderes dog, at enkeltdysekontrol på grund af nuværende investeringsomkostninger fortsat vil være mindre udbredt.

3.9 Avanceret sprøjteteknologi

Gennem de seneste 10-15 år er der sket en markant udvikling af sprøjteteknologi, der vedrører bomhøjdestyring, præcis og variabel dysekontrol, automatisk dyseskift og dyseteknologi.

Bomhøjdestyring er standardudstyr på nyere og større sprøjter og fungerer ved, at bommen automatisk holdes i den ønskede højde over afgrøden. I sin enkleste form styres hele bommens højde på én gang. De mest avancerede systemer har en højdesensor midt for sprøjtebommen, der holder bommens midterste sektion i den indstillede højde. Hver side af bommen reguleres individuelt og på samme vis. Bommen kan således gå både under og over vandret ved kørsel i kuperet terræn. Det sikrer optimal bomhøjde i hele bombredden. Med de mest avancerede systemer kan bommens højde yderligere styres uafhængigt på den yderste sektion. Bomhøjdestyringen har betydet, at der nu markedsføres systemer med 25 cm dyseafstand, som dermed kan køre i 30 centimeters højde over sprøjtemålet. Det sikrer både en god fordeling af sprøjtevæsken og reduktion af afdrift. En lille del af de nye sprøjter leveres med automatisk dyseskift, dvs. med mulighed for at skifte dyser fra styreheden i førerkabinen. De mest avancerede systemer skifter selv dyse med henblik på variabel dyseydelse i forhold til fremkørselshastigheden. Det giver ikke en reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler, men kan bidrage til, at midlerne udbringes med mindre risiko for afdrift. Desuden er det standard, at dyser lukker effektivt uden at dryppe. Luftinjektionsdyser er udviklet i mange udgaver og har givet meget større muligheder for at reducere afdrift ved sprøjtning. Sprøjteførere rådes

til at anvende dyser, der giver mindst 75 procent afdriftsreduktion. Miljøstyrelsen har i forbindelse med fokus på minimering af afdrift udarbejdet en oversigt over afdriftsreducerende udstyr (Miljøstyrelsen, 2017) samt støttet vejledninger i brugen af afdriftsreducerende sprøjteteknologier (Petersen, 2017).

I afdriftsforsøg er det veldokumenteret, at afdriften ved sprøjter forsynet med luftledsagelse (også benævnt luftassistance) eller med luft som forstøvningsteknik (luftsprøjte) er reduceret i forhold til konventionel praksis (Jensen & Kirknel, 1997; van de Zande et al., 2002). Forholdet varierer dog afhængig af sammenligningsgrundlaget, eksempelvis afgrødetype og -udvikling, dysevalg til konventionel/luftledsagelse etc. (Jensen, 2004). Det er ikke entydigt, hvilken effekt man kan forvente at opnå med luftledsagelse og luftsprøjter i forhold til konventionel teknik på trods af, at der er gennemført en række forsøg med de to slags sprøjter ved forskellige sprøjteopgaver. Tabel 5 herunder opsummerer viden fra de mange analyser af sprøjter forsynet med luftledsagelse og luftsprøjter, hvoraf det kan konkluderes, at der kan opnås en mindre forøgelse af biologisk effekt, når der anvendes typen af sprøjter med luftledsagelse i kombination med fladsprededyser eller luftinjektionsdyser (Jensen, 2004; Klausen og Jørgensen, 2011) samt for typen luftsprøjter. Det bør nævnes, at tabellens viste effekter ved ukrudtsbekæmpelse bygger på analyser, som generelt har været præget af stor forsøgsusikkerhed og derfor få sikre udslag for anvendelsen af de to typer af sprøjter (Jensen, 2004).

En analyse af biologisk effekt ved ukrudtsbekæmpelse på 2-4 bladstadiet konkluderer, at luftledsagelse i kombination med fladsprededyse giver en høj og stabil biologisk effekt uafhængig af fremkørselshastighed set i forhold til low-drift dyse ved lav hastighed (Klausen og Jørgensen, 2011). Luftledsagelse kan opretholde god fordeling ved dårligere vindforhold og højere fremkørselshastigheder. Begge typer af sprøjter bevirker ved korrekt brug en svagt forbedret effekt til visse sprøjteopgaver (tabel 5).

TABEL 5. Sammendrag af forsøgsresultater med en sprøjte forsynet med luftledsagelse og en luftsprøjte ved forskellige plantebeskyttelsesopgaver (Jensen, 2004). 0 angiver samme effekt, 0/+ svagt forbedret effekt og ++ markant forbedret effekt i fht konventionel marksprøjte. Konventionel sprøjte med fladsprededyse og ca. 150 l/ha (ved sprøjtning mod skimmel i kartofler dog ca. 250 l/ha), luftledsagelse og fladsprededyse ved 60-100 l/ha (ved nedvisning dog 150 og 300 l/ha), luftsprøjte ved 30-50 l/ha.

Opgave	Sprøjte med luftledsagelse	Luftsprøjte
Ukrudtssprøjtning	0	0
Svampebekæmpelse i korn	0/+	0/+
Bladlus i korn	0/+	0/+
Kartoffelskimmel	0/+	0
Nedvisning i kartofler	++	++

Kompakte injektionsdyser blev introduceret i 2006 og har opnået høj popularitet (Hans Thstrup, LMO, pers. meddelelse), fordi dråbestørrelse for kompakte injektionsdyser ligger et sted mellem low-driftsdyser og alm. luftinjektionsdyser, og giver mulighed for at reducere afstandskrav til vandmiljø og §-3 natur. Afdriftsrisikoen er reduceret til niveau med alm. luftinjektionsdyser, mens dækningen på blade er bedre, dog ikke på niveau med low-drift dyser (Nuyttens, 2009). Et dansk forsøg har vist stabile og høje biologiske effekter ved sprøjtning i afgrøder med ukrudt på kimbladsstadiet (= små sprøjtemål, som hidtil har betydet mindst biologisk effekt for alm. luftinjektionsdyser) uafhængig af fremkørselshastighed set i forhold til low-driftsdyse ved lav hastighed (Klausen og Jørgensen, 2011).

3.10 Smartphone, iPad, Tablet applikationer (Apps)

Bestemmelse af dækningsgrad af ukrudt

Det danske firma Agro Intelligence Aps og Datalogisk (distribution) (Datalogisk A/S, Nørre Alslev, Danmark) har udviklet et simpelt og dermed prisbilligt kamerasystem med tilhørende App for smartphone/tablet/ipad. WeedMaps App'en henter data fra kameraet og position fra GPS, og omsætter dette til et kort over ukrudtsdækning mellem afgrøderækker. Systemet kortlægger således dækningsgraden for afgrøde og dækningsgrad for samtlige grønne planter mellem afgrøderækker (antages i systemet for at være ukrudt). Systemet registrerer, hvor afgrøderækker er, og sorterer resten som værende ukrudt. Systemet foretager ikke en egentlig artsbestemmelse. Billedet dækker 1,5m×1,5m. Kortlægningen kan anvendes til at aktivere sprøjtning under kørsel, eller efter overkørsel af marken. Registreringer kan eksporteres i forskellige filformater eller overføres automatisk til Næsgaard MARKKORT, hvor data kan analyseres. I Næsgaard MARKKORT kan sensor registreringerne anvendes som grundlag for tildelingskort. Tildelingskortet kan overføres til visse sprøjteterminaler i forbindelse med efterfølgende ukrudtsbehandlinger i de områder, hvor der er behov. I første omgang er WeedMaps kameraer og App delt ud til udvalgte jordbrugere for at opnå erfaringer med systemet.

Styrken ved denne patentbeskyttede App er, at der anvendes prisbilligt standardudstyr og et simpelt koncept. Svagheden er, at der formentlig vil være mange begrænsninger for, hvornår det er muligt at anvende konceptet. I en større skala kunne systemet tænkes egnet til at graduere ukrudtssprøjtning i roer, majs og kartofler, og evt. i tidlige vækststadier for korn, som er sået med dobbelt rækkeafstand. Udfordringen kan blive, om systemet er i stand til at aflæse ukrudtsintensiteten, hvor ukrudtet kun har kimblade eller de første små løvblade. Potentialet ved ukrudtsbekæmpelse vil primært være at graduere tildelingen. Pletsprøjtning kunne tænkes ved forekomst af flerårigt rod ukrudt, som danner synlige pletter i marken.

Tildelingskort fra CropSAT

DataVäxt Mobil (DataVäxt AB, Grästorps, Sverige) er en App, som kan understøtte manuel graduering efter CropSAT tildelingskort med sprøjter, som har terminaler og styreenheder, der ikke tillader automatisk og variabel tildeling på baggrund af tildelingskort og GPS. App'en gør brug af Smartphone/tablets med indbyggede GPS, som registrerer sprøjteførerens og sprøjtens placering i marken, samt hvor stor tildelingen af f.eks. svampemiddel eller vækstreguleringsmiddel skal være på den aktuelle position i marken. Sprøjteføreren skal manuelt graduere tildelingen op eller ned på styreenheden for sprøjten. Ligeledes kan App'en anvendes til manuelt at registrere områder i marken, hvor der skal punktbehandles med plantebeskyttelsesmidler. Ulempen er den manuelle tilgang til brug af App'en, som i praksis synes besværligt for sprøjteførere.

3.11 Båndsprøjter

Teknologiudviklingen for båndsprøjter har i mange år været stillestående, og kapaciteten ved sprøjtning har langt fra fulgt med i forhold til, hvad der er sket for marksprøjter generelt, hvor både øget bombredde og tankstørrelse har øget kapaciteten dramatisk over de sidste 10-15 år. For omkring 15 år siden havde Hardi International A/S et udviklingsprojekt i samarbejde med Nordic Beet Research, hvor man ved brug af kamerastyringsteknik forsøgte at udvikle en båndsprøjte med samme kapacitet som en bomsprøjte. Projektet blev stoppet, da den teknisk komplicerede løsning ikke svarede til salgspotentialet.

GPS teknologi, autostyring og højdestyring vil potentielt give nye muligheder for at forbedre kapaciteten, hvis det bliver muligt også at anvende den almindelige marksprøjte til båndsprøjtning. Hos Dansk Landbrugsrådgivning Sydhavsøerne forsøger man i projektet IPM I Roer at anvende den almindelige marksprøjte til båndsprøjtning. Ved at anvende 80 grader spredevinkel, 30-40 cm bomhøjde og eventuel 'skråstilling' af dyser i forhold til den normale montering i dyseholderen, er det muligt at sprøjte i smalle bånd (Secher, 2017). En foreløbig test har vist lovende resultater, og det kunne potentielt blive et stort gennembrud for båndsprøjtning, såfremt konceptet bliver en succes (Secher, 2017). Implementering vil formentlig kræve nogle ressourcer til at beskrive de tekniske specifikationer og en formidlingsaktivitet.

4. Udfordringer og barrierer

Af Poul Henning Petersen, Jens Erik Jensen, Anna Marie Thierry, Jens Elbæk

Afsnittet beskriver udfordringer og barrierer for anvendelse af tilgængelige teknologier, som er beskrevet i afsnit 3.

4.1 Generelle barrierer

4.1.1 Globalt marked

Den første forudsætning, for at nye teknologier bliver taget i anvendelse, er, at der kan opbygges en kommerciel efterspørgsel. Et skoleeksempel for dette har været udviklingen af kamerastyring til radensere. Udviklingen blev igangsat af et par iværksættere, som fik modnet produktet til at kunne anvendes i praksis. Herefter blev konceptet opkøbt af en stor global udbyder, som med systemer til produktion, leverance og teknisk backup har været i stand til at gøre kamerastyring til en standardvare, ikke bare til radrensning, men også til andre maskinoperationer.

4.1.2 Flere funktioner i samme teknologi

En væsentlig udfordring er, at mange teknologier kun kan anvendes til én opgave. I det øjeblik udstyr og software kan anvendes til mange opgaver, bliver rentabiliteten forbedret, og brugeren får lettere ved at blive fortrolig med at anvende udstyret. GPS og autostyring er et godt eksempel på en teknologi, som har flere funktioner – jordbearbejdning, såning, gødskning, plantebeskyttelse og høst. Arbejdsmiljømæssigt er autostyring en stor fordel for maskinføreren, der ikke skal koncentrere sig om kørslen, men kan rette sin fulde opmærksomhed på udførelsen af arbejdsopgaven. Sektionsstyring af sprøjte og såmaskiner med GPS og autostyringen sparer brændstof, udsæd og plantebeskyttelsesmidler, og giver en fordeling af gødning og plantebeskyttelsesmidler uden overlap. En parallel findes i udviklingen af smartphones, hvor telefon, musikanlæg, computer mv. er samlet i en enhed.

4.1.3 Viden om agronomiske muligheder

Forskellige sensorer er udviklet til måling af ukrudtsdækning, biomasse og til digital genkendelse af plantearter. Der er spekuleret i om multispektrale kameraer kunne anvendes til at observere plantesygdomme på tidlige udviklingsstrin. Udfordringen er, at udstyrets udviklingsgrad er foran den agronomiske viden om udnyttelsen af teknologierne.

Udfordringen er at vise fordelene og dermed skabe et behov for teknologierne for bredden og ikke kun for enkelte jordbrugere. Endvidere er det en udfordring at involvere de kommercielle leverandører, så produkterne bliver færdigudviklet og anvendelige i praksis. Teknologierne skal være velafprøvede, før der er attraktivt at implementere dem på bedrifterne, herunder at få dem med i udviklings- og investeringsplaner.

Teknologiudvikling tager tid, og systemer skal markedsføres for at modne teknologien yderligere. Et eksempel er graderet tildeling af kalk, hvor rationaliseringen af jordprøveudtagning er foregået i løbet af 00'erne, og har medført en tilstrækkelig god økonomisk gevinst for en stor del af bedrifterne og ikke kun for enkelte 'first mover' bedrifter. Systemer for dataudveksling for variabel tildeling af kalk er for nuværende velstruktureret lige fra jordprøveudtagningsvirksomheder, laboratorier, planteavlskonsulenter og frem til maskinstationer, som udfører levering og graderet tildeling af kalk. Det bør tilføjes, at spredning af kalk igennem årtier har været udført af maskinstationer og nærmest aldrig af jordbrugere selv. Graderet tildeling af

kalk er implementeret, og de involverede teknologier og strukturer er gradvist modnet. Det ses derfor som en udfordring, at udpege nogle kommercielle teknologier med potentiale for at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler, som kunne gennemgå en lignende modningsfase. Stribeforsøg kunne anvendes til at undersøge, om der er et potentiale for at udnytte præcisionsteknologierne. Denne forsøgstype kan håndtere variation i marken og der er udviklet anerkendte statistiske metoder.

4.2 Barrierer for jordbrugere, konsulenter og virksomheder

I en mindre interviewundersøgelse blandt 11 jordbrugere, konsulenter og virksomheder, som har erfaring med præcisionsteknologi generelt, herunder sprøjeteknologi (Thierry et. al. 2016), blev følgende udfordringer og barrierer fremhævet:

- Det er meget få, som anvender data, der er registreret med sensorteknologier.
- Der er stor interesse for anvendelse af præcisionsteknologi, men der mangler software programmer, som kan udnytte data, og der er manglende viden om mulighederne for at udnytte indsamlede data. Interessen kommer primært fra konsulenter og virksomheder samt store bedrifter. Interviewpersonerne er ikke entydigt enige om, hvorvidt flertallet af jordbrugere er interesserede.
- Jordbrugere fremhæver, at investering i ny teknologi skal være velbegrundet, ikke nødvendigvis alene økonomisk, men det kan også være for at blive fagligt udfordret. Tilskud er ikke afgørende.
- Brugervenlighed og funktionalitet skal være i orden. Der er ikke plads til ekstra tidsforbrug i den korte sæson med ekstrem travlhed. Det fremhæves, at maskiner og software skal 'kunne tale sammen'.
- Den store gruppe jordbrugere efterspørger autostyring og sektionskontrol.
- Meget teknisk udstyr bliver indkøbt men ikke brugt, især hvis der skal betales månedlige abonnemeter el. lign.
- CropSAT er let tilgængelig, men anvendelse vil afhænge af, om der er billeder til rådighed på relevante tidspunkter i vækstsæsonen.
- Den nuværende økonomiske situation i landbruget vil for en del være en hindring for nye investeringer.
- Få jordbrugere/sprøjteførere er tilstrækkeligt efteruddannede til at kunne implementere avanceret ny teknologi.
- Der mangler et stærkt system til rådgivning og teknisk backup.

4.3 Anvendelse af afgrødesensorer

Thierry et al. (upubl) har i en rapport, som endnu ikke er publiceret, samlet erfaringer med anvendelse af afgrødesensorer (monteret på traktor eller sprøjte) i Nordeuropa, primært Danmark. Konklusionerne om barrierer mod at anvende sensorer til gradueret tildeling af næringsstoffer og plantebeskyttelsesmidler er følgende:

- Mange af de danske jordbrugere, der ejer en sensor, bruger den ikke. Rapportens spørgeskemaundersøgelse viser, at 71 procent 'slet ikke' eller 'i mindre grad' anvender sensor i forbindelse med tildeling af planteværn.
- 81 procent oplever 'slet ikke' eller 'i mindre grad', at brugen af sensor har reduceret forbruget af plantebeskyttelsesmidler.
- Det er primært de mest teknologiinteresserede jordbrugere, som tager sensorer i brug.
- Merudbyttet for varieret tildeling af plantebeskyttelsesmidler er små.
- Jordbrugere synes ofte, at teknikken er kompliceret at anvende, og jordbrugere har oplevet tekniske problemer.
- Jordbrugere modtager utilstrækkelig backup.

4.4 Anvendelse af droner

På baggrund af en afholdt temadag om anvendelse af droner i landbruget nævner indlægsholderne en række barrierer for udnyttelse af droner (Laursen, 2016):

- Lovgivning giver mange begrænsninger af hensyn til sikkerhed
- Der er indtil nu få business cases
- Droner har begrænset arealkapacitet
- Der er mange udfordringer med hardware (batteriopladning, forberedelse af rutekort, opsætning, højdebestemmelse, datahåndtering, computerarbejde osv.)

Konklusionen fra temadagen sammenfattes således: "Udviklingen med droner til anvendelse i det praktiske landbrug i fremtiden må ske i samarbejde med rådgivere og slutbrugere. Landbruget skal være med til at pege på behov og være med i at udvikle anvendelsesmuligheder, som inkluderer brugervenlighed, gevinst, tidsforbrug og risici."

4.5 Båndsprøjter

Udviklingen af båndsprøjter har stået næsten stille i forhold til udviklingen af marksprøjter. Generelt har båndsprøjtning derfor en lav kapacitet i forhold til sprøjtning med marksprøjter. Et eksempel kan nævnes fra Kirstineberg ved Nykøbing, hvor en 18 rækker båndsprøjte har kapacitet til at sprøjte 80-90 ha ud af et samlet roareal på ca. 400 ha (Ghita Cordsen Nielsen, SEGES, pers. meddelelse). Det er også en barriere, at båndsprøjten ikke har andre anvendelser. Udvikling af båndsprøjtning som en ekstra funktion på almindelige marksprøjter ville give mulighed for mere præcis tildeling for eksempel på bedrifter, hvor sprøjten anvendes til både udbringning af flyende gødning og/eller plantebeskyttelsesmidler i specialafgrøder.

5. Udfordringer vedrørende teknologiudvikling

Af Michael Nørremark, Peter Kryger Jensen, Henning Sjørsløv Lyngvig, Jens Erik Jensen

Med udgangspunkt i erfaringer fra gennemførte og igangværende projekter beskrives udfordringer ved udvikling af ny teknologi. Det gælder projekter, som har haft til formål at videreudvikle eksisterende/kommercielle digitale kamerateknologier (3D, bladarealmåling og planteartsgenkendelse) samt sprøjteteknologier. Potentialet for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler ved sted-specifik ukrudtsbekæmpelse stiger, jo højere opløsning der anvendes, det vil sige, når arealet af de områder, marken opdeles i, og hvor beslutning om bekæmpelse/ikke bekæmpelse foretages på, reduceres til det absolutte minimum. De udfordringer, som stadig driver forskningen og udviklingen, er at optimere på teknologier for udbringning af plantebeskyttelsesmidler, således at midlerne rettes direkte mod målet, dvs. rammer ukrudt, svampesygdomme og skadedyr lokalt, hvor de forekommer og er identificeret. Dette betragtes som den ypperste præcision inden for udbringning af plantebeskyttelsesmidler.

5.1 Den Intelligente Sprøjtebom

Projektet "Den Intelligente Sprøjtebom" havde som mål at udvikle en teknologi, som i en arbejdsgang kunne detektere ukrudt, bestemme bekæmpelsesbehov samt foretage bekæmpelse i de områder af marken, hvor der blev vurderet at være et behov. Princippet var at montere et (kamera)system på bommen til at registrere området lige foran bommen. Bekæmpelsesbehovet blev vurderet ud fra ukrudtsregistrering ved billedbehandling og udvikling af en afgrødefafhængig beslutningsalgoritme. I de områder af marken, hvor der bedømmes at være bekæmpelsesbehov, åbnes den tilsvarende dyse på bommen og sprøjtningen foretages. Teknologien var som udgangspunkt tænkt anvendt i rækkeafgrøder som majs, sukkerroer etc. Valget af rækkeafgrøder skyldtes, at ambitionen alene var at skelne afgrøde fra ukrudt og at bedømme bekæmpelsesbehovet ud fra dækningsgradsforholdet afgrøde/ukrudt. Dette er mest enkelt i afgrøder dyrket på stor rækkeafstand. Teknologien kan dog senere videreudvikles til de bredsåede landbrugsafgrøder. Artsgenkendelse af ukrudt var således ikke indeholdt i projektet. Potentialet for reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler ved stedspecifik ukrudtsbekæmpelse stiger, jo højere opløsning der anvendes, det vil sige, når arealet af de områder marken opdeles i, og hvor beslutning om bekæmpelse/ikke bekæmpelse foretages på, mindskes. I projektet blev det besluttet at foretage vurderingen af bekæmpelsesbehovet i en bredde på 25 cm under bommen. Den anden dimension (kørsels-/længderetningen) er i princippet variabel og ned til nogle få cm, da billedmaterialet kan underinddeles. Når der blev valgt en bredde på 25 cm, skal dyserne tilsvarende placeres med 25 cm dyse afstand på bommen, og hver dyse skal kunne aktiveres individuelt. På den udviklede sprøjtebom blev kameraerne placeret med 50 cm afstand, så informationen fra hvert kamera skulle anvendes til at styre funktionen af 2 dyser. Der kræves præcis bomstyring og navigation for at holde styr på position af dysen i forhold til det område, der skal behandles samt for at opnå en korrekt behandling af det tilstræbte område. Ved moderat kørehastighed (7 km/t) kan der med tilgængelig kommercielt sprøjteteknik opnås en præcis fordeling af sprøjtevæske i det tilstræbte område og med begrænset tab af sprøjtevæske uden for det tilstræbte område (Jensen, 2015).

I projektet blev der fremstillet en prototype, som fungerede under markforhold. Efterfølgende blev konceptet samt delkomponenter tilbudt til projektets kommercielle partner, sprøjtefabrikanten Amazone, der dog ikke umiddelbart var interesseret i konceptet.

Udfordringer

Kamerasystemet havde den udfordring, som generelt ses, at dagslys med varierende skydække og sol påvirker billedkvaliteten og dermed billedanalysen.

5.1.1 Dyser og ventiler

Stort set alle marksprøjtefabrikater kan leveres med sektionafblænding med op til 15 sektioner. Spørgsmålet har været, om dyserne aktiveres hurtigt nok, når ukrudt, svampesygdom eller skadedyr registreres i real-time. Undersøgelser udført i projektet 'Den Intelligente sprøjtebom' viste, at den markedsførte Weedseeker Valve Cartridge VC01 elektromagnetventil fra Trimble (tidligere NTech) er tilstrækkeligt hurtig til korrekt aktivering af dyse med henblik på præcist at målrette herbicid på ukrudt, hvis antal/dækning er over en given tærskelværdi (Jensen, 2015). Den generelle konklusion fra undersøgelsen var, at de to smalle vinklede dyser i kombination med VC01 ventil er egnet til cellesprøjtning med en høj opløsning svarende til eksempelvis de to ovennævnte kommercielle teknologier for artsbestemmelse, DAT og H sensorerne (0,3x0,3 m eller 0,2x0,3 m). Dette er baseret på den antagelse, at den biologiske virkning, der opnås i den centrale del af det sprøjtede areal, er sammenlignelig med konstant dyseåbning ved varierende hastighed over sprøjtemålet. Forøgelse af hastighed til mere end 2 m/s øgede variabilitet i spredbilledet. I projektet blev der samtidig fremstillet en prototype-robot til parcellforsøg, som fungerede under markforhold med et artsbestemmelsessystem for genkendelse af majs, tokimbladet og enkimbladet ukrudt. Resultatet er publiceret i Stigaard et al. (2017), hvor konklusionen er, at sammenlignet med konventionel sprøjtning kan den foreslåede metode reducere herbicid-forbruget med 65 % uden tab i biologisk effekt. VC01 elektromagnetventiler er endvidere afprøvet i markforsøg på en 3 m marksprøjte med det samme kamerasystem fra Stigaard et. al. (2017), som blev modificeret til at kunne artsbestemme afgrøderne kål og radise i forbindelse med EU projektet 'PURE' (Laursen, 2015). Her blev det vist, at målretning af herbicid til individuelle 0,2x0,1 m celler med identificering af ukrudtsplanter var lige så effektiv som den konventionelle uniforme sprøjtning. De udplantede kål blev artsbestemt, og rækker af radise blev lokaliseret med kamerasystemet. Begge afgrøder blev sprøjtet for at bekæmpe ukrudt tæt på kålplanter og i rækker af radise. Herbicidforbruget var signifikant forskelligt mellem den afprøvede sprøjtestrategi og konventionel uniform sprøjtning (Stigaard, 2015).

Udfordringer

Den afprøvede elektromagnetventil VC01 er typisk monteret ifbm. WeedSeeker instrumentering, som er en NDVI sensor, der registrerer grøn vegetation og derefter sender signal til VC01 om at sprøjte i en defineret periode. Systemet anvendes typisk til bekæmpelse af ukrudt på fortove og andre bymæssige arealer samt jernbanearealer, hvor ukrudt bekæmpes pletvis med enten herbicider, damp eller ukrudtsbrænding. Den afprøvede elektromagnetventil er ikke monteret på marksprøjter, men det er dog altid muligt at foretage modifikationer af marksprøjter, således at VC01 elektromagnetventilerne kan monteres.

'Smart Nozzle' systemet fra tyske Altek er en elektronisk løsning for individuel dysestyring, men hvor hurtigt dyserne aktiveres, vides ikke. Dynajet Flex 7120 fra TeeJet kan regulere individuel dyseydelse, dråbestørrelse og aktivering. Systemet anvender en bestemt pulserende teknologi med magnetventiler, e-ChemSaver, som bevirker, at dyseydelsen, aktivering og dråbestørrelse kan reguleres uafhængig af hinanden. Magnetventilens pulserende teknologi bevirker, at den kan tænde og slukke 10 gange hvert sekund, hvilket resulterer i hurtige reaktionstider og jævnt spredbillede ved de forskellige dyseydelser og dråbestørrelser. E-ChemSaver ventiler og dyser er ikke afprøvet, som anført ovenfor for VC01 elektromagnetventilerne, pga. markedsføringsstidspunktet for e-ChemSaver, der lå i slutningen af 2015.

5.1.2 Sprøjtebommes styring og konstruktion

Der er markedsført bomstabiliserende systemer, som baseres på accellerometre, hældnings-sensorer, ultralydssensorer og gyroskoper. De førende marksprøjtefabrikanter har formået at konstruere bomophæng, som reducerer de vertikale afstandsvariationer mellem dyser og sprøjtemål. Konstruktionsmæssigt er der også nyere bomme, hvor stivheden og bevægelses-absorbering er markant forbedret, hvorved de horisontale bevægelser er reduceret. Stivheden er afhængig af konstruktion, materiale og centerophæng. I projektet 'Plantebeskyttelse – aktiv og intelligent bomstabilisering for marksprøjter' blev bombevægelser for en almindelig mark-sprøjte målt. Horisontale svingningsamplituder på op til 0,35 m med frekvenser omkring 1-2 Hz blev målt (Nørremark et al., 2008). I samme projekt startede den danske producent af mark-sprøjter, Hardi-International, med at udvikle AutoTerrain systemet, som blev markedsført i 2016 og inkluderer de ovennævnte sensorer for bomstabilisering. Andre fabrikanter har markedsført lignende systemer.

Udfordringer

Det er ukendt, hvor store og hvor hurtige horisontale bombevægelser der kan forventes med de nyeste og mest avancerede bomme på marksprøjter. Bommene bliver stadige bredere, og det må forventes, at der stadig er for store svingninger i de yderste led på meget brede bomme som følge af konstruktionen og ved kurvekørsel. Kurvekørsel og konstruktionsudsving har stor betydning for hastigheden, hvormed bommen og derved dyserne bevæger sig over sprøjtemålet. Doseringen bliver derved meget varierende med op til flere 100 procents forskel. Såfremt dyser skal aktiveres og ramme et sprøjtemål inden for et areal på 0,3x0,3 m, skal bombevægelserne og hastigheden relativt, i forhold til fremkørselshastighed, måles med en instrumentering bestående af accellerometre eller anden sensorteknologi. Målingerne anvendes sammen med en helt ny form for elektronisk regulering af dyserne eller sektioner, således at dyseydelserne er tilpasset dysernes hastighed over sprøjtemålet. Cellesprøjtningsteknologier medfører meget høje krav til bomstabilitet ifht. horisontale og vertikale bevægelser for at kunne ramme sprøjtemålet inden for en given cellestørrelse.

5.1.3 Kommercialisering

Generelt skal der produceres mange enheder af systemet for at prisen på de enkelte komponenter, og dermed det samlede system, kommer ned i et niveau, hvor merprisen i forhold til nuværende standard marksprøjter kan betales af besparelsen på herbicidforbruget. Det beskrevne system har langt mere indbygget teknologi end de nuværende sprøjter. For at være interessant for en sprøjtefabrikant kræves det, at systemet kan produceres, så det kan operere mindst ligeså robust og med samme driftssikkerhed som eksisterende sprøjteteknologi.

Med det anvendte koncept, hvor bekæmpelsesbehovet bestemmes real-time, ved man i princippet ikke hvor stort et areal af en given mark, der skal sprøjtes. Systemet er derfor bedst egnet til anvendelse på injektionssprøjter, hvor sprøjtemidler injiceres til sprøjtevæsken efterhånden, som de forbruges.

Ukrudtsidentifikation, lokalisering samt bekæmpelsesbehov kan i princippet adskilles fra selve bekæmpelsen ved, at der i stedet fremstilles et tildelingskort. Derved vil sprøjtevæskeforbruget være kendt, når sprøjtningen gennemføres.

5.2 Digital planteartsgenkendelse

I Danmark har forskere anvendt metoder som 'deep convolutional neural network', der har vist meget lovende resultater. 22 arter kan nu artsbestemmes i løbet af mindre end et sekund ved disse nye machine learning metoder (Dyrmann et al., 2016). I RoboWeedSupportMaps projektet fortsættes dette forsknings- og udviklingsarbejde. Metoderne er forskellige fra det, som de

kommercialiserede DAT og H sensorer anvender. DAT og H sensorerne er baseret på formgenkendelse, men dette giver problemer, når blade overlapper (Swain et al., 2011). En helt anden fremgangsmåde, som eliminerer problematikken ved bladoverlap, er at anvende klorofyl fluorescence fingerprinting (Tyystjärvi et al., 2010). Det er muligt digitalt at adskille plantearter ved at analysere fluorescence induktionskurver, men teknologien (laser baseret puls modulerende fluorometer) er kun udviklet til laboratorieanvendelse og i et par enkelte tilfælde til anvendelse i markforsøg, og vil derfor kræve meget udvikling.

I projektet RoboweedSupport 2014-2016 er der udviklet et online IT-værktøj, som skulle kunne bruges af planteavlskonsulenter og andre til at bestemme arter af ukrudt og klasser af udviklingstrin på baggrund af digitale billeder, som optages og indsendes af en person eller maskine i marken. Gennem manuel annotering af ukrudtsbilleder er det lykkedes at træne intelligente computeralgoritmer til at opnå en høj grad af genkendelse af ukrudtsarterne. Der er etableret en forbindelse mellem RoboweedSupport programmet og Planteværn Online, således at der kan hentes bekæmpelsesforslag. I projektførelsen kunne det konkluderes, at det på nuværende tidspunkt ikke er muligt at anvende billeder optaget med droner, idet optagelsen skal ske i lav flyvehøjde, hvilket både teknisk og kapacitetsmæssigt ikke er realistisk. I stedet arbejdes der med at indsamle billeder fra et højhastighedskamera, hvor marken overkøres i høj hastighed.

Dette arbejde er fortsat i det nye projekt RoboWeedMaps, hvor Aarhus Universitet med deltagelse af en række samarbejdspartnere (AgroIntelligence Aps, IPMConsult, Datalogisk, iGis og Danfoil) skal videreudvikle tidligere projekters kamerasystem til billedindsamling, fortsætte digital artsbestemmelse baseret på 'machine learning' metoder, implementere beslutningsalgoritmer til beregning af dosering, udvikle managementsystem til dokumentation samt udvikle injektionssprøjte til udførelse af behandlingen.

Udfordringer

Det har vist sig at være kompliceret at lave en fyldestgørende database over samtlige ukrudts- og afgrødearter. Udfordringen er derfor at lave en App, som jordbrugere selv udvikler, dog uden at vide det, under sine lokale forhold. Her er der nye metoder inden for modelbaseret digital billedanalyse for planteartsgenkendelse, baseret på indsamlet og annoteret data ('machine learning'), som kan vise sig anvendelige. Der er også andre parametre, som udfordrer anvendeligheden af Apps til bestemmelse af ukrudt, sygdomme og skadedyr, herunder intensiteten hvormed billeder skal optages for at dække behovet for valg og udbringning af plantebeskyttelsesmidler på hele marken. Sprøjtefeltet er afhængigt af udbredelsen af for eksempel ukrudtskolonier, og i litteraturen er nævnt inddelinger på 3m x 3m og helt ned til 1m x 1m (Christensen et al., 2009) for den mest optimale registreringsintensitet. Der er ikke markedsført smartphone Apps som automatisk genkender arter ifølge Pongnumkul (2015) og diverse App markeder (søgning per december 2017 på Apple App Store og Google Play). Eksempler på Apps med ukrudtsdatabaser, men uden digital artsbestemmelser, er BASF Weed ID, BASF Disease ID.

RoboWeedSupport projektet er afsluttet ved udgangen af 2016. Målet om at producere et funktionelt værktøj, som SEGES og de 7 deltagende rådgivningscentre kan implementere i praksis, blev ikke nået til fulde. Det er blevet klarlagt, at der udestår en effektiv løsning for indsamling af fotos, ligesom det skal testes i praksis, om sådanne systemer har en tilstrækkelig brugervenlighed og hastighed til at blive et værktøj, som konsulenterne bruger i vækstsæsonen. Systemet skal eksempelvis kunne fungere i en dagligdag, hvor konsulenten kører fra kunde til kunde, og brugerkravet vil realistisk være, at kvalitetskontrol og godkendelse af forslag fra RoboWeed skal kunne ske i løbet af dagen via tablets.

Forskningsmæssigt er det stadig en udfordring at kunne artsbestemme, hvor planter blade overlapper, dvs. succesraten for artsbestemmelse med nuværende metoder afhænger i høj grad af plantebestandenes tæthed.

5.3 Ukrudts- og tildelingskort ved hjælp af luftfotos og billedbehandling

Københavns Universitet har i flere projekter udforsket muligheden for at kortlægge rodukruddet via billedoptagelser med drone og efterfølgende billedbehandling (Olsen et al, 2017). Det var ikke muligt at kortlægge tidsler i roer, da der ikke kunne blev fundet tilstrækkelig forskel mellem tidsler og roer. Det har været mere succesfuldt at kortlægge rodukruddet før høst af korn (Rasmussen 2015). I 2016 er det forsøgt at omfatte hele processen fra optagelse af billeder med drone, analyse og fortolkning af billeder, udarbejdelse af tildelingskort og graduert tildeling af herbicid. Arbejdet har vist, at der er næsten uoverstigelige problemer med at finde udstyr, der kan håndtere tildelingsfiler og graduere tildelingen. I de kommende år bliver de hidtil udviklede kortlægningsystemer evalueret mht. overensstemmelse mellem kortlægningen af ukrudt og tildeling af herbicid.

Et endnu ikke publiceret forsøg udført af Aarhus Universitet viser op til 40 % reduktion i glyfosatsprøjtning i korn (Michael Nørremark, AU, pers. meddelelse). I forsøget blev et kommercielt Claas E-systems Culti Cam 3D kamera anvendt til estimering af rodukruddet i korn før høst. Der blev behandlet med glyfosat i de områder af 3m x 20m parceller, hvor den grønne vegetation havde en bestemt højde ifht. kornet. Forsøgsparcellerne var udlagt i et område, hvor man visuelt ville have bedømt, at hele området bør glyfosatbehandles før høst. Der har tidligere været foretaget studier af Claas E-systems Culti Cam kameraet ved estimering af bladareal index (LAI) (Kirk, 2010), hvorfor denne type sensorer også kan anvendes ved graduering af vækstreguleringsmidler. Claas E-systems Culti Cam sensor anvendes kommercielt til autostyringsformål (traktorer, finsnitere, radrensere), og der kan derfor være en rationaliseringsgevinst for den type af sensorer/kameraer. Der forestår en større produktudvikling, førend Claas E-systems Culti Cam kamera kan anvendes til de nævnte kombinerede formål, og det vides ikke, om Claas for nuværende har planer om at videreudvikle 3D kameraet til præcisionssprøjtningens formål. Der er flere sensorer på markedet, som måler refleksion og omsætter data til et vegetationsindeks, jf. afsnit 3.1, dvs. kan anvendes til både graduert gødskning og graduert sprøjtning før høst. Danske forsøg eksisterer ikke for undersøgelse af den kombinerede effekt af disse sensortyper. Der er derfor også tvivl om, hvor stor investering der kan foretages ifht. de kombinerede effekter af for eksempel graduering ved 2. og 3. gødskning og graduert sprøjtning i korn før høst eller i stub.

Udfordringer

At udføre dronedeflyvning eller anden form for vurdering af bekæmpelsesbehov og efterfølgende udarbejdelse af tildelingskort vil altid kræve en ekstra arbejdsgang. Der er derfor behov for at følge udviklingen af automation inden for dronedeflyvning. Ligeledes er der flere og flere kommercielle producenter af markrobotter (Bosch, Agro intelligence Aps, Naïo, SAGA Robotics Kubota, Semler Agro m.fl.), som muliggør potentialerne i at lade mindre permanente mobile robotter monitorere markerne med forskellige sensorer monteret og datakommunikation til centrale servere (dvs. base station m.v., som kendes fra andre landbrugsrobotter og robotplæneklippere). På centrale servere kan der placeres tilstrækkelig computerkraft til at producere opdaterede tildelingskort, som sprøjteføreren kan downloade lige i det øjeblik, som sprøjteopgaven skal udføres. I hovedtræk er der behov for studier af, hvorledes fremstillingen af brugbare tildelingskort kan rationaliseres til anvendelse for en større andel af jordbrugere.

5.4 Graduering af herbicider

Projektet "Cellesprøjtning af ukrudt i majs" (Lund et al., 2008) var en forløber for "Den Intelligente Sprøjte-bom". Konceptet var det samme som beskrevet for "Den Intelligente Sprøjte-bom" men med en finere opløsning af sprøjtefelter. På cellesprøjtningen var dimensionen på de sprøjtefelter, hvor beslutning om bekæmpelse eller ej blev foretaget 30 mm i køreretningen og 107 mm på tværs af køreretningen. Systemet kræver derfor tilsvarende en sprøjte-teknik, der kan sprøjte i en bredde på de 107 mm for at realisere potentialet. Når opløsningen bliver finere, stiger den potentielle besparelse, og den blev vurderet til at ligge på 80-90 % med cellesprøjtningen. Til gengæld vil et sådant system blive væsentligt dyrere. Der er i andre projekter arbejdet med en endnu finere opløsning, hvor der fokuseres på at finde og bekæmpe enkeltplanter af ukrudt. Dette vil kunne give en meget stor reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler.

Graglia (2005) angiver eksempelvis, at en normal ukrudtsbestand vil kunne bekæmpes med <1 % af normaldosering af glyphosat. Enkeltplante sprøjtning, hvor herbicidet tildeles ukrudtsplanter individuelt, åbner op for muligheden for at anvende ikke-selektive midler såsom glyphosat i fremspirede afgrøder. Der har i flere projekter været arbejdet med enkeltplante sprøjtning, og Garford v/Yding Smedie har som de første udviklet og markedsført en sprøjte til bekæmpelse af spildkartofler primært i løg og gulerødder, hvor der ikke længere er selektive plantebeskyttelsesmidler til rådighed (Agrologisk, 2014). Med kamera og billedbehandling lokaliseres afgrøden, og derefter identificeres ukrudt både i og mellem rækkerne, og der foretages sprøjtning med en specielt udviklet dyse. Det er ikke angivet, hvor stort areal (pixels) der kræves, før sprøjtning udløses, men på baggrund af beskrivelse/dokumentation, må det formodes, at der kræves et større sprøjtemål/areal. Således kan teknikken ikke anvendes til bekæmpelse af frøukrudt, som formodes at kræve en væsentlig mere præcis sprøjte-teknik.

De seneste års analyser, som er foretaget på systemer videreudviklet fra cellesprøjtningssprincippet, er baseret på markforsøg, og viser potentielle herbicidreduktioner på 65 % i majs (Laursen et al., 2016) og 46 % i kål og radise (Nørremark et al., under udarbejdelse). De nævnte undersøgelser er foretaget med kommercielt tilgængelig marksprøjteteknologi, herunder dyser og elektromagnetiske ventiler (Weedseeker Valve Cartridge VC01) og bomhøjde på 25 cm, men på basis af en forskningsplatform for artsbestemmelse af afgrøder eller afgrøderækker. De udførte sprøjtninger er foretaget med en 3 m stabiliseret bom med en række enkelt-dyser (0,2 m spredbredde per dyse), som pulserer dosis, når ukrudt er registreret under dysen, alt sammen udført fuldautomatisk. Principperne er videreført i det nyligt lancerede produkt WeedMaps App'en fra Agointelligence Aps.

Udfordringer

For at undgå den ekstra arbejdsgang ved udarbejdelse af tildelingskort er der interesse i at montere sensorer på sprøjtebomme, som udfører registreringer af ukrudt samtidig med sprøjtning. Registrering og sprøjtning sker altså i én og samme arbejdsgang. Ulempen er, at sprøjtefø- rereren ikke helt nøjagtigt ved, hvor stor mængde tankmix den enkelte opgave kræver. Injektionssystemer på marksprøjter løser dette problem. Marksprøjter fra for eksempel Knight, Dan- foil, Kyndestoft og selvkørende John Deere sprøjter kan alle leveres med fabriksmonterede og integrerede injektionssystemer. For en sprøjtefø- rerer uden et egentligt tildelingskort er det svært at vurdere den mængde tankmix, der skal påfyldes inden kørsel i mark. Dog kan en mindre restmængde udsprøjtes på marken, idet stort set alle sprøjtecomputere viser tankindhold og antal hektar, som er sprøjtet, dvs. sprøjtefø- rereren har en mulighed for at tilpasse uniform sprøjtning på den resterende, men meget mindre del af marken. Den mest besværlige situati- on for sprøjtefø- rereren er at have for lidt sprøjte- væske. Et velfungerende og 100 % integreret injektionssystem så tæt på dyser som muligt er optimalt, samt et system, hvor der kan udskif- tes kemikaliebeholdere uden spild af plantebeskyttelsesmiddel. Der bør forskes og udvikles meget mere i velfungerende og smart konstruerede injektionssystemer, således at beholdere med forskelligt plantebeskyttelsesmiddel kan udskiftes og stilles i kemikalierum på lige fod med kemikaliedunke. Teknisk bør det være muligt at kunne foretage kemikalieskift helt uden

spild af kemikalie, dvs. et intelligent skylleprogram på marksprøjter, hvor injektionsventiler kan tage rent vand ind ved afslutning af sprøjteopgaven på marken, hvorved der ikke findes rest af kemikalie fra den enkelte kemikaliebeholder i marksprøjtens væskeføringer. Det er vigtigt ved udskiftning af kemikaliebeholdere, at sprøjtning med nyt middel kan påbegyndes med det samme uden risiko for sprøjteskade som følge af kemikalierester i sprøjtens væskeføringer. Der er markedsført systemer med automatiske rengøringsrutiner. Det er typisk maskinstationer som anvender injektionssystemer for hurtigt at kunne skifte til andet plantebeskyttelsesmiddel fra kunde til kunde. Vidensopbygning om praktisk anvendelse af injektionssystemer og agronomiske effekter ved gradueret udbringning af plantebeskyttelsesmiddel er væsentlige faktorer for at få flere jordbrugere og maskinstationer til at overveje investering i injektionssystemer eller tilbyde gradueret udbringning af plantebeskyttelsesmiddel med injektionssystem.

5.5 Graduering af fungicider og vækstregulering

Projektet "Den Intelligente Sprøjtebom" indeholdt en undersøgelse af, om doseringen af fungicider, vækstregulatorer og nedvisningsmidler i heterogent udviklede marker bør tilpasses afgrødens udvikling.

Formålet med en sådan teknologi var at foretage en sprøjtning med et givet effektniveau, hvor doseringen af en række plantebeskyttelsesmidler tilpasses afgrødens udvikling. Doseringen skal således hæves i områder af marken, hvor afgrødens biomasse og bladareal er større end gennemsnittet, mens doseringen kan sænkes i de områder, hvor afgrøden er tyndere og med lavere biomasse og bladareal end gennemsnittet. Formålet er at opnå samme dosering af plantebeskyttelsesmiddel pr. bladarealenhed/aktive biomasse. Teorien blev afprøvet til to af de hyppigste svampesprøjtninger, 1) Bekæmpelse af akkssygdomme i vinterhvede ved skridning, samt 2) Bekæmpelse af kartoffelskimmel. I forsøgene med bekæmpelse af kartoffelskimmel var der en klar dosis-respons med stigende effekt over for kartoffelskimmel ved stigende dosering af fungicid. Derimod var der ingen effekt af variationer i bladarealindeks/biomasse på effektniveau. Der blev således opnået samme dosis/respons i en tynd kartoffelafgrøde som i en kraftigt udviklet afgrøde (Jensen & Nielsen, 2015). I vinterhvedeforsøgene var der derimod en signifikant vekselvirkning mellem dosis/respons og afgrødeudvikling. Ved den lave afgrødetæthed blev der opnået maksimal effekt ved en lav indsats af fungicid, mens der ved den høje afgrødetæthed blev opnået stigende fungicideffekt med stigende dosering. Vinterhvede forsøgene bekræftede således teorien, hvorimod den blev forkastet i kartoffelforsøget.

Der blev gennemført et mindre omfattende forsøgsarbejde med nedvisning af kartofler med diquat. Dette forsøg viste tilsvarende, at nedvisningseffekten var afhængig af afgrødens udvikling, og at der således kræves stigende dosis af diquat ved stigende afgrøde biomasse for at opnå samme effekt i tætte kraftige afgrøder som i svagere udviklede afgrøder (Jensen, 2015). I Holland er der på baggrund af tilsvarende forsøg udviklet en kommerciel algoritme for biomassebaseret tildeling af diquat (Evert et al. 2012) ved nedvisning af kartofler. Det vurderes, at der vil være baggrund for en tilsvarende sammenhæng mellem afgrødeudvikling og doseringsbehov for at opnå et ønsket effektniveau ved plantebeskyttelsesopgaver, der omfatter svampbekæmpelse, anvendelse af vækstregulatorer samt nedvisning. Undersøgelserne med bekæmpelse af kartoffelskimmel viser dog, at sammenhængen ikke er generel, og hver enkelt plantebeskyttelsesopgave – eller i hvert fald grupper – skal derfor undersøges individuelt.

I projektet blev afgrødebiomasse registreret ved den "klassiske metode" med måling af LAI. Afgrødeudvikling blev også registreret med måling af vegetationsindeks (NDVI) samt med 3-D billeder af afgrøden med et Claas E-systems Culti Cam. Den nævnte hollandske algoritme er ligeledes baseret på et vegetationsindeks. Målingerne med Claas E-systems Culti Cam er ikke analyseret, og det vides ikke, om Claas E-systems har planer om at videreudvikle deres 3D kamera til andre formål end autostyring af radrensere og køretøjer.

Udfordringer

Gradueret sprøjtning med plantebeskyttelsesmidler i real-tid vil give den komplikation, at sprøjtevæskeforbruget ikke kendes, når sprøjtningen påbegyndes. Hvis gradueringen af plantebeskyttelsesmidlet i stedet er baseret på et tildelingskort, kan udgangspunktet være anvendelsen af den dosering, der skulle være anvendt ved en ensartet tildeling på hele arealet, men hvor tildelingsalgoritmen tilpasser doseringen afhængig af afgrødetæthed.

De doseringsændringer, der kræves for at anvende og realisere potentialet ved gradueret sprøjtning på et areal, kan opnås ved at variere dysetryk og fremkørselshastighed og dermed anvende samme koncentration af sprøjtevæske på hele arealet, men komplikationer er stadig som nævnt i tidligere afsnit, at væskeforbruget ikke kendes ved real-tid graduering. Der stilles ikke specielle krav til sprøjteteknik, da variationer i afgrødeudvikling typisk foregår så gradvist, at nuværende sprøjters sektionsoptdeling er tilstrækkeligt.

6. Handlingsforslag

Af Poul Henning Petersen, Jens Erik Jensen, Jens Elbæk, Peter Kryger Jensen, Michael Nørremark

I det følgende gives bud på mulige handlingsforslag og projekter, som kan understøtte udvikling og implementering af intelligente sprøjteteknologier i praksis

6.1 Anvendt forskning

6.1.1 Vinklet sprøjteteknik

Vinklet sprøjteteknik har vist sig at kunne forbedre bekæmpelsen af nogle betydningsfulde græsukrudtsarter med bladmidler i tidlige stadier (Jensen og Jørgensen, 2010). Ved vinklet teknik forstås, at dysen monteres, så sprøjtetouchen ikke sprøjter vinkelret ned mod afgrøde/jord, som er standard monteringen. Vinklet sprøjtning kan gennemføres ved at montere dyser i holdere, som sikrer en vinkling i fht. lodret eller ved at anvende dyser, som har indbygget en vinkling i selve dysen. For bekæmpelse af græsukrudt formodes det, at den forbedrede effekt opnås, fordi en vinkling af sprøjtetouchen sikrer en bedre afsætning på lodrette sprøjtemål, såsom græsukrudt udgør i de tidlige vækststadier.

Der er udført et par indledende forsøg med bekæmpelse af sygdomme i kartofler med vinklet sprøjteteknik, hvilket viste lovende resultater (Jensen, 2014). Der mangler imidlertid et mere fyldestgørende forsøgsarbejde for at finde den optimale teknik til dette formål og dokumentere effekten i forhold til standard sprøjteteknik.

6.1.2 Gradueret herbicidsprøjtning og vækstregulering

Som det fremgår af afsnit 5.2, så har gradueret sprøjtning i heterogent udviklede afgrøder vist et potentiale for reduceret anvendelse af plantebeskyttelsesmidler for de enkelte plantebeskyttelsesopgaver. Før metoden kan implementeres i praksis, udestår dog en dokumentation for sammenhæng mellem afgrødeudvikling og doseringsbehov. For hver opgave, hvor doseringsbehovet viser sig at afhænge af afgrødens biomasse, skal der beskrives en algoritme for tilpasning af dosering. For at sikre implementering i praksis skal der foreligge velbeskrevne metoder til registrering af afgrødens-/ukrudtets udviklingstrin og procedurer for at udforme tildelingstildelingskort. Der er behov for viden og rådgivning om, hvordan gradueret sprøjtning skal praktiseres.

Det foreslås, at der igangsættes projekter, hvor flerårige forsøg med manuel monitorering af ukrudt, svampesygdomme og skadedyr sammenlignes med monitorering ved hjælp af sensorer, både markedsførte og *proof-of-concept* produkter fra tidligere forskningsprojekter. Et endnu ikke publiceret forsøg udført af Aarhus Universitet viser op til 40 procent reduktion i glyphosat-sprøjtning før høst i korn (Michael Nørremark, AU, pers. meddelelse), hvilket indikerer potentialet i en teknologi bestående af et kommercielt Claas E-systems Culti Cam kamera, som blev anvendt til estimering af rodukudt i korn før høst. Der har tidligere været foretaget studier af Claas E-systems Culti Cam kameraet ved estimering af bladreal indeks (LAI) (Kirk, 2010), hvorfor denne type sensorer også kan anvendes ved graduering af vækstreguleringsmidler m.fl. Claas E-systems Culti Cam sensor anvendes kommercielt til autostyringsformål (traktorer, mejetærskere, radensere), og der kan derfor være en rationaliseringsgevinst for den type af sensorer/kameraer. 3D kamerateknologi i relation til reduktion i forbruget af plantebeskyttelsesmidler rummer mange potentielle muligheder.

6.1.3 Artsbestemt sprøjtning

Det foreslås, at de nævnte kommercielle sensorer for artsbestemmelse af afgrøde, tokimbladet og enkimbladet ukrudt, afprøves i flerårige forsøg. Det er vurderingen, at sensorerne nu er tilstrækkeligt udviklet mht. billedkvalitet og billedfrekvens. Det kan forventes, at sensorerne og sprøjteteknologien om få år er så rationaliseret og tilpasset, at det bliver interessant for jordbrugere at investere i. Forsøgenes formål bør dels være en undersøgelse af sensorernes muligheder og begrænsninger, ifht. reduktion af herbicidforbrug, og dels at opbygge tilstrækkelig viden til at kunne rådgive om teknologierne, når de er 'modnet' i tilstrækkelig grad til at blive rentable for jordbrugere at investere i. I forskningen er der udviklet flere lovende *proof-of-concept* kamerabaserede systemer til artsbestemmelse af plantearter. Systemerne er bygget op omkring de nyeste metoder indenfor både 'machine vision' og 'machine learning'. Det vil være relevant at medtage disse *proof-of-concept* systemer i forsøgene, da det må formodes at blive de næste generationer af systemer til automatisk planteartsbestemmelse eftersom LED, kamera og computerteknologierne udvikles hurtigt. Sådanne projekter vil kunne understøtte processen med at implementere teknologier med reducerende effekt på forbruget af plantebeskyttelsesmidler, når de agronomiske effekter er undersøgt og vejledningen for implementering er påbegyndt, inden teknologierne markedsføres. Dette kan de omtalte *proof-of-concept* produkter anvendes til.

6.1.4 Graderet fungicidsprøjtning

Det foreslås, at den nævnte kommercielle sensor AgriCon P3 samt MobilLas sensoren, som måler bladareal og biomasse samtidig, afprøves i flerårige forsøg. Den danske udviklede og patenterede MobilLas sensor er i første omgang udviklet til præcisionsgødsning, men idet MobilLas består af dual sensorteknik, vil den være mulig at anvende ved fungicid- (og vækstregulerings-) sprøjtninger (Thomsen & Schelde, 2007). MobilLas består af en laser, som måler højde, tæthed og bladareal index (LAI) og en reflektansmåler, som ud fra 4 bølgelængder estimerer klorofyl indhold, eksempelvis beregnet på Ratio Vegetation Index (RVI) eller NDVI. Det vil sige, at MobilLas sensoren kan bestemme biomassen mere præcist end nogen anden sensor på markedet. Ligeledes er det rationelt for en jordbruger, at MobilLas også kan anvendes til præcisions gødsning. Claas E-systems Culti Cam kameraet vil også kunne anvendes til at estimere LAI, og bør derfor vurderes ifbm. graderet fungicidsprøjtning på linje med MobilLas sensoren. Claas E-systems Culti Cam kameraet er anvendt i forsøgene i projektet 'Gradering af fungicider og herbicider i kartofler og korn', men data er ikke færdigbehandlet endnu. Sammenhængen mellem reelle og estimerede LAI vha. Claas E-systems Culti Cam kamera er derfor ikke fastlagt, men datagrundlaget findes.

6.1.5 Graderet herbicidbehandling i rækkeafgrøder

En graderet herbicidbehandling kan formentlig opnås ved sammensætning af eksisterende sprøjteteknologier i rækkeafgrøder. Teknologier, som er tilpasset konstant sprøjtning af afgrøderækker samtidig med graderet sprøjtning af ukrudt mellem afgrøderækker, vil være oplagt. Der er mulighed for placering af dyser med 25 cm afstand på kommercielle sprøjtebomme, lav bomhøjde med ultralydssensorer, samt flerstrengesystemer og enkeltdyseafblænding. Et sådant system giver mulighed for at undersøge for eksempel WeedMaps App'en fra Agointelligence Aps og en modificeret udgave af Garford RoboWeed via Tilleit and Hague Technology Ltd/Yding Smedie. De analyser, som er foretaget indenfor de seneste par år, viser potentielle herbicidreduktioner på 65 % i majs (Laursen et al., 2016) og 46 % i kål og radise (Michael Nørremark et al., under udarbejdelse). De nævnte undersøgelser er foretaget med kommercielt tilgængelig marksprøjteteknologi, herunder dyser og elektromagnetiske ventiler og bomhøjde på 25 cm og er derfor et *proof-of-concept* med potentiale for produktudvikling.

6.2 Implementering i jordbruget

De hidtidige erfaringer med implementering af præcisionsmetoder til udbringning af hjælpestoffer i landbruget viser, at de afgørende barrierer i høj grad drejer sig om løsning af praktiske problemer. Her iblandt at få software og hardware til 'at snakke sammen', at give klare instrukser om udnyttelsen af systemerne samt at dokumentere det faglige grundlag om de økonomiske konsekvenser.

6.2.1 Inddragelse af interessenter

I projekter, der har til formål at implementere de nye metoder, bør der fokuseres på at inddrage såvel jordbrugere og deres rådgivere som de forskellige leverandører på en forpligtende måde. Således vil alle parter have et økonomisk incitament i at få sat teknologien i drift. Et forslag er at oprette et rejsehold, som aktivt opsøger jordbrugere med udstyr, som kan anvendes til intelligent sprøjtning. Rejseholdet skal gennem netværksdannelse nyttiggøre den viden, som ligger hos jordbrugere, rådgivere, eksperter, leverandører af udstyr mv.

6.2.2 Dokumentation

Afprøvning i sribeforsøg af graderet tildeling af plantebeskyttelsesmidler vil være en oplagt mulighed for at få dokumentation for effekten og økonomien. Teknologisk Institut har for SEGES udført en styrkeberegning i kartoffelforsøg, hvor der er vist en mindre varians i sribeforsøg i forhold til parcelforsøg. Vi formoder derfor, at sribeforsøg er velegnede til forsøg med graderet tildeling. Teknisk skulle betingelserne for at gennemføre et forholdsvis stort antal forsøg være til stede, idet mange bedrifter har udbyttmåler på mejetærskeren, GPS-registrering af tildeling og anvender FarmTracking til logning af hændelser i marken. Erfaringerne er, at der skal anvendes mange ressourcer til at organisere denne type afprøvning både til teknisk assistance og til håndtering af data.

I 2017 udvikler Teknologisk Institut et koncept for On Farm Forsøg med udgangspunkt i, at Nordic Field Trials System bliver åbent for, at jordbrugere og rådgivere mv. kan oprette afprøvninger. On Farm Forsøg vil være oplagte til at samle dokumentation for effekt og økonomi ved brug af graderet tildeling mv.

7. Litteratur

- Agrologisk (2014) Garford Robocrop Spot Sprayer. Agrologisk. November 2014.
<http://www.agrar-plus.dk/agro/artikel/82159-garford-robocrop-spot-sprayer>. Hjemmesiden sidst besøgt den 10-01-2018.
- Aissaoui, A. El (2016) A feasibility study of direct injection spraying technology for small scale farming: Modeling and design of a process control system. University of Liege–Gembloux Agro-Bio Tech. Dissertation presented for obtaining the degree of doctor of agricultural sciences and biological engineering. Belgium. 176p.
- Berge, T.W., Goldberg, S., Kaspersen, K., Netland, J. (2010) Towards machine vision based site-specific weed management in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 81, 79–86.
- Bjerre, K D (1999). Disease maps and site-specific fungicide application in winter wheat. *Precision Agriculture '99. Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture*, Sheffield Academic Press, 495-504.
- Bjerre, K.D., Jørgensen, L.N., Secher, B.J.M. (1998) Sygdomskort og positionsbestemt fungicidanvendelse. 15. Danske Planteværnskonference – Sygdomme og skadedyr. DJF rapport no 3 133-144.
- Bødker, L. (2016) Satellitbilleder viser sammenhæng mellem tidlig afmodning og sædskifte. *Magasinet Danske Kartoffler*, December 2016, 12-13.
- Christensen, S., Heisel, T., Walter, A., Graglia, E. (2003) A decision algorithm for patch spraying. *Weed Research* 43, 276–284.
- Christensen, S., Søgaard, H.T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E.S., Jørgensen, R.N. (2009) Site-specific weed control technologies. *Weed Research* 49, 233-241.
- Christensen, Ø. H. (2010) Sprøjtemiddel tilsættes i bomcirkulation. *Landbrugsavisen*, 22. oktober 2010.
<https://landbrugsavisen.dk/Landbrugsavisen/2010/10/22/Sproejtemiddeltilsaettesibomcirkulation.htm>. Hjemmeside sidst besøgt den 10-01-2018.
- Dyrmann, M., Karstoft, H., & Midtby, H. S. (2016) Plant species classification using deep convolutional neural network. *Biosystems Engineering*, 151, 72-80.
- Evert, F.K., van der Voet, P., van Valkengoed, E., Kooistra, L., Kempenaa, C. (2012) Satellite-based herbicide rate recommendation for potato haulm killing. *European Journal of Agronomy* 43, 49-57
- Agrologisk (2014). Garford Robocrop Spot Sprayer. Artikel i Agrologisk, November 2014.
<http://www.agrologisk.dk/artikel?id=82159>. Hjemmesiden sidste besøgt den 10-01-2018.
- Gerhards, R., Christensen, S. (2003) Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugar beet, winter wheat and winter barley. *Weed Research* 43, 385-392.

Graglia, E. (2005) En plante én dråbe – hvor lidt skal der til. 'Sammendrag af indlæg på Plan-tekongres 2005. 26-27.

Jensen, P.K. (2004) Vidensyntese om sprøjteteknik med hovedvægt på afdriftsreducerende dyser samt sprøjter med luftledsagelse og luftsprøjter: Rapport over Erhvervs-finansieret Plan-teavlsforskning. Danmarks Jordbrugsforskning.

Jensen, P.K. (2014) Vinklet sprøjteteknik ved bekæmpelse af svampesygdomme i kartofler. Magasinet Danske Kartofler, Maj 2014, 16-18.

Jensen, P. K. (2015a) Target precision and biological efficacy of commercially available nozzles used for precision weed control. Precision Agriculture 16, 705-717.

Jensen, P.K. (2015b) Desiccation of potatoes – influence of maturity/green biomass. Applied Crop Protection 2014. DCA report 058, 131-132.

Jensen, P.K., Jørgensen, L.N. (2010) Sprøjtetekniske undersøgelser. Pesticidaprøvning 2009. Det Jorbrugsvidenskabelige Fakultet. Aarhus Universitet. DJF rapport markbrug 146, 123-128

Jensen, P.K., Jørgensen, L.N. (2016a) Interactions between crop biomass and development of foliar diseases in winter wheat and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. Crop Protection 81, 92-98

Jensen, P.K., Jørgensen, L.N. (2016b) Interactions between crop biomass and development of foliar diseases in winter wheat and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. Crop Protection 81, 92-98.

Jensen, P.K., Kirknel, E. (1997) Sammenligning af afdrift fra konventionel sprøjte, Hardi Twin, Kyndestofte Airsprayer og Danfoil. 14. Danske Planteværnskonference 1997 - Ukrudt, SP Rapport 7, 161-169.

Jensen, P.K., Nielsen, B.J. (2015) Development of potato late blight (*Phytophthora infestans*) in differently developed potato crops and the potential to graduate the fungicide dose according to crop biomass. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science 65, 667-672.

Kaspersen, K., Berge, T.W., Goldberg, S., Netland, J., Overskeid, Ø., Stølan, T. (2010) Estimation of weed pressure in cereals using digital image analysis. In: Program and Abstracts, 3rd Precision Crop Protection Conference, 19–21 September 2010, Bonn, Germany, p. 1.

Kirk, K. (2010) Image analysis for above-canopy measurement of leaf area index. PhD afhandling. Computer Vision & Media Technology Laboratory, Aalborg University, November 2010, Aalborg, Denmark, 154 p.

Klausen, N. E., Jørgensen, T.L. (2011) Effekter ved øget hastighed ved marksprøjtning. Videncentret for Landbrug. FarmTest Maskiner og planteavl nr. 115, 36 p. ISSN 1601-6777 Landbrugsstyrelsen (2017). Tilskudsguide. <http://lbtst.dk/tilskudsguide/>. Hjemmesiden sidst besøgt 10-01-2018.

Laursen, C. (2016) Droner i landbruget? Spørgsmål om brug af droner i den danske landbrugsproduktion har længe været genstand for spekulation og interesse, men hvor langt er vi? Landbrug og Fødevarer SEGES, Landbrugsinfo. Link:

https://www.landbrugsinfo.dk/Oekologi/Planteavl/Sider/3260_cala_artikel_dronedag.aspx.

Hjemmeside sidste besøgt 08-01-2018.

Leithold, H. (2013) Sensorbalkasten im Feldversuchswesen - Neuerungen und Ausblick. In: Proceedings of the 44th DLG-Technikertagung 2013, Soest, Germany, 29-30. January, 2013, 3 p.

Larsson, J.A., Velandia, M.M., Buschermohle, M.J. and Westlund, S.M. (2016). Effect of field geometry on profitability of automatic section control for chemical application equipment. Precision Agriculture 17:18–35.

Lund, I., Christensen, S., Jensen, L. Aa., Jensen, P.K., Olsen, H.J., Søgaard, H.T. (2008) Cellesprøjtning af ukrudt i majs. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen Nr. 123, 2008 <http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2008/978-87-7052-851-1/978-87-7052-851-1/pdf/978-87-7052-852-8.pdf>

Lundø, M., Larsen, K. (2017) Præcisionslandbrug 2017 - Satellit-teknologi vinder frem hos unge landmænd. Nyt fra Danmarks Statistik nr. 381, 28. september 2017, 4 p. ISSN 1601 1015.

Miljøstyrelsen (2017) Brug af afdriftsreducerende udstyr ved sprøjtning med plantebeskyttelsesmidler. Miljøstyrelsens Vejledning Nr. 23, ver 2.2. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/11/978-87-93614-38-3.pdf>. Hjemmesiden sidst besøgt den 10-01-2018

Nordbo, E., Christensen, S. (1995) Spatial variability of weeds. In: Proceedings of the Seminar on Site Specific Farming (ed. S.E. Olesen), 67–89. SP Report 26, Nov 1995, Foulum, Denmark.

Nuyttens, D., Dhoop, M., De Blauwer, V., Hermann, O., Hubrechts, W., Mestdagh, I., Dekeyser, D. (2009) Drift-reducing nozzles and their biological efficacy. University of Gent, Department of Plant Production. Communications in agricultural and applied biological sciences 74(1), 47-55.

Nørremark, M., Laursen, M.S., Hommes, M., Jensen, P.K., Rasmussen, R.N. (under udarbejdelse). Biological efficacy of a machine vision based weed detection and spraying system in *Raphanus sativus* and transplanted *Brassica oleracea*. Journal paper in preparation

Nørremark, M., Qamar, A., Nilars, M.S., Persson, K (2008) A system using GNSS to record spray boom movement and absolute position under operating conditions. Artikel fremlagt ved International Conference on Agricultural Engineering: Agricultural & Biosystems Engineering for a Sustainable World, EurAgEng 2008, Hersonissos, Grækenland, 23.-25. juni, 9 sider.

Olesen, J.E., Jørgensen, L.N., Jensen, P.K., Thomsen, A.G. and Jensen, J.E. (2008) Sensor-based graduation of fungicide application in winter wheat. Danish Ministry of the Environment. Volume 116.

Olsen, S. I., Nielsen, J., Rasmussen, J. (2017) Thistle detection. Image Analysis: 20th Scandinavian Conference, SCIA 2017, Tromsø, Norway, June 12–14, 2017, Proceedings, Part II. red. / Puneet Sharma; Filippo Maria Bianchi. Bind Part II Springer, 2017., 413-425.

Pedersen, C.Å (2003) Oversigt over Landsforsøgene 2003. Dansk Landbrugsrådgivning. Landscenteret Planteavl. 182 p.

Pedersen, J.B. (2009) Oversigt over Landsforsøgene 2009. Dansk Landbrugsrådgivning. Landscenteret Planteavl. 451 p.

Pedersen, H. H., Laursen, C. H. (2001) Marksprøjter med injektionssystem og GPS. Landbrugs Rådgivningscenter, Landskontoret for Bygninger og Maskiner. FarmTest nr. 2, 25 sider. ISSN: 1601-6777

Pedersen, H.H. (2005) Autostyring - nøjagtighed og de første danske erfaringer. Sammendrag af indlæg, Plantekongres 2005. 78-79. ISBN 87-984996-6-1.

Petersen, P.H. (2013) Afgrødesensorer til planteværn. Forslag til anvendelse af sensorer, resultater af afprøvninger samt økonomiberegninger. SEGES.
https://www.landbrugsinfo.dk/planteavl/plantevaern/ipm/sider/afgroedesensorer-til-plantevaern_pl_13_1332.aspx

Petersen, P. H. (2016a) Investering i sensorer til gradueret sprøjtning.
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantevaern/IPM/Sider/PL_IPM_Investering_i_sensorer_til_gradueret_sproejtning.pdf?download=true. Hjemmesiden sidst besøgt den 10-01-2018.

Petersen, P. H. (2016b) Sensorgraduering af plantebeskyttelsesmidler.
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantevaern/IPM/Sider/PL_IPM_Sensorgraduering_af_plantebeskyttelsesmidler.pdf?download=true. Hjemmesiden sidst besøgt den 10-01-2018.

Petersen, P.H. (2017) Maksimal effekt og minimal afdrift. Regler om afstandskrav for plantebeskyttelsesmidler og anvendelse af afdriftsreducerende sprøjteteknik. 2. udgave. SEGES Landbrug og Fødevarer F.m.b.A. PlantInnovation. 24 sider.
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantevaern/IPM/Sider/pl_IPM_maksimal-effekt-og-minimal-afdrift.pdf. Hjemmesiden sidst besøgt den 10-01-2018.

Petersen, P.H. og Pedersen., B. (2015) Integreret plantebeskyttelse. IPM rimer på godt landmandskab. SEGES Planter og Miljø. file:///C:/Users/au164323/Downloads/IPM_rimer_paa_Godt_landmandsskab_net.pdf

Piotraschke, H. F. (2014) Intelligent optischer Sensor für den teilflächenspezifischen Herbizid-Einsatz im Online-Verfahren. Presentation at the BLE-Innovationstage 2010, October 6-7th 2010, Berlin, Germany.

Pongnumkul, S., Chaovalit, P., Surasvadi, N. (2015) Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. Journal of Sensors Volume July 2015, 18 p.

Rasmussen, J. (2015) Gradueret planteværn på basis af droneoptagelser. Sammendrag af indlæg på Plantekongres 2015, 284-287.

Reusch, S. (2009) Use of ultrasonic transducers for on-line biomass estimation In winter wheat. In JIAC2009 Book of Abstracts; Lokhorst, C.J.F.M., Huijsmans, R.d.L., Eds.; ECPA (European Conference on Precision Agriculture), Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, 2009; pp. 169–175.

Secher, B.J.M. (2017) IPMIROER - Kan vi båndsprøjte med en alm. sprøjte? Præsentation ved roemøde. Februar 2017. Dansk Landbrug Sydhavsøerne.

Söderström, M., Stadig, H., Nissen, K., Piikki, K. (2015) CropSAT: kväverekommendationer och grödstatuskartering inom fält genom en kombination av satellitdata och N-sensorer. Preci-

sionsodling Sverige. Precisionsodling och Pedometri. Teknisk Rapport nr 36, 20p. ISSN 1652-2826.

Stigaard Laursen, M. (2015) Machine vision sensing and evaluation for sub feet herbicide spraying under field conditions. PhD afhandling. Syddansk Universitet. Det Naturvidenskabelige Fakultet, Odense, Denmark, 60 p.

Stigaard Laursen, M., Jørgensen, R. N., Midtby, H. S., Mortensen, A. K., & Baby, S. (2017) Dicotyledon Weed Quantification Algorithm for Selective Herbicide Application in Maize Crops: Statistical Evaluation of the Potential Herbicide Savings. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 11(4).

Swain, K.C., Nørreremark, M., Jørgensen, R.N., Midtby, H.S., Green, O. (2011) Weed Identification Using An Automated Active Shape Matching (AASM) Technique. *Biosystems Engineering* 110 (4), 450-457.

Tackenberg, M., Volkmar, C., Dammer, K.H. (2016) Sensor-based variable-rate fungicide application in winter wheat. *Pest Management Science* 72: 1888–1896

Thierry, A.M., Pedersen, B., og Madsen, K.H. (2016): Præcisionsjordbrug i Danmark. Barriere-rapport: Identificering af udfordringer og forhold, der hæmmer udvikling, produktion og anvendelse af præcisionsjordbrugsteknikker i planteavl.

Thomsen, A. G., Schelde, K. (2006) MobilLas mobile canopy sensor. Precision technology in crop production - Implementation and benefits. In: *Proceedings of NJF seminar 490*, Lillehammer, Norway, November 7-8, 2006, 42-50.

Thomsen, A. G., Schelde, K. (2007) Mobile measurement of canopy development and nitrogen status. In: *Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture*, Skiathos, Greece, June 3-6, 2007: 389-395

Tyystjärvi, E., Nørreremark, M., Mattila, H., Keränen, M., Hakala, M., Ottosen, C.-O., Rosenqvist, E. (2010) Automatic identification of crop and weed species with chlorophyll fluorescence induction curves measured outdoors after one second of shading. *Precision Agriculture* 12 (4), 546-563

van de Zande, J.C., Michielsen, J.M.G.P., Stallinga, H., Porskamp, H.A.J., Holterman, H.J., Huijsmans, J.F.M. (2002) Environmental risk control. *Aspects of Applied Biology* 66, *International advances in pesticide Application*, 165-176.

Wallinga, J. (1995) A closer look at the spatial distribution of weeds – perspectives for patch spraying. In: *9th EWRS Symposium: Challenges for Weed Science in a Changing Europe*, Budapest, Hungary, 647–653.

8. Ordforklaring

TABEL 6. Ordforklaring

Ord	Forklaring
3D kamera	Et kamera med to eller flere linser, der simulerer menneskelige binokulære syn, optager billeder med rumlig (tre-dimensionelle) visuelle informationer og digitaliserer disse informationer.
Accelerometer	Instrument (sensor) til måling af acceleration eller vibration. Der måles på en kendt masse, hvis udsving er proportional med accelerationen. Massen påvirker en strain-gauge eller et piezoelektrisk krystal, hvorved udsvinget omsættes til et elektrisk signal.
Afdrift	Afdrift ved sprøjtning defineres som andelen af sprøjtevæske, der føres ud af det sprøjtede areal under sprøjtningen. Afdrift af plantebeskyttelsesmidler forekommer ved sprøjtning med dyser hvor små dråber bliver fanget af vinden og ført væk fra sprøjtemålet. Afdrift sker også ved at små dråber i varmt vejr og ved lav luftfugtighed er udsat for hurtig fordampning, der mindsker dråbestørrelsen og øger vindfølsomheden. Afdriften påvirkes af dyse type, tryk, bomhøjde og kørehastighed. Afdrift kan yderligere opdeles i 2 fraktioner, sedimentationsafdrift og luftbåren afdrift.
Afgrødesensor	Måleinstrument som anvendes til at vurdere afgrødens evne til at reflektere lys og ud fra dette bestemme afgrødens klorofylindhold
App	En App er en forkortelse for en applikation, dvs. et program i form af software, der via internettet installeres på en smartphone, iPad, Tablet, PC eller anden elektronisk enhed. En App udnytter typisk eksisterende operativsystemer på smartphones, iPads og Tablets og egenskaber, for eksempel GPS og kamera enhederne, og tilføjer dermed merværdi til smartphones, iPads, Tablets m.fl. Derudover kan en del App's anvendes uden adgang til internettet.
Autostyring	Automatisk GPS baseret styring af køretøjer efter foruddefinerede spor i marken
Bomhøjde	Afstanden målt mellem sprøjtemålet og dyser monteret på en sprøjtebom. Bomhøjden er typisk justerbar enten trinløst (hydraulisk fjernbetjent) eller i intervaller (manuelt).
Bomhøjdestyring	På traditionelt sprøjteudstyr styres sprøjtebommens højde over sprøjtemålet manuelt af sprøjteføreren. Ved bomhøjdestyring er højdestyringen overtaget af en computer, som på basis af sensorsignaler holder en konstant højde over sprøjtemålet.
Bomophæng	En sprøjtebom er monteret på en marksprøjte via et bomophæng. Bomophængen sørger for dæmpning af utilsigtede bombevælgelser, at holde bommen parallel over overfladen, og at justere bommens højde over sprøjtemålet. Bomophængen har også anordninger til at folde bommen i transportstilling.
Bomsprøjte	Der eksisterer to typer af bomsprøjter som anvendes i jordbruget: 1) horisontale bomsprøjter, dvs. liftmonterede marksprøjter, trailer (bugserede) sprøjter og selvkørende sprøjter. Disse sprøjter anvendes til udbringning af plantebeskyttelsesmidler langs en bom eller i bånd, der genererer en sprøjtetåge, der generelt er rettet nedad, 2) vertikale bomsprøjter, dvs. tågesprøjter, luftassisterede sprøjter og lign. der anvendes til udbringning af plantebeskyttelsesmidler på buske og træer så som frugttræer, hvor udbringningen hovedsagelig sker sideværts og/eller opad.
Båndsprøjte	En båndsprøjte er forskellig fra alm. marksprøjte (fladesprøjtning) da sprøjtning kun foretages på og i afgrøderækker. Anvendelse i de mest alm. rækkeafgrøder. Båndsprøjter kan være udstyret med én dyse monteret lodret over rækken eller med to dyser som er skråstillet fra hver sin side af rækken

Cellesprøjte	En sprøjteteknologi som i princippet kun doserer sprøjtevæske i meget små områder eller celler på marken, hvor der forekommer ukrudt. Områder uden ukrudt eller med ukrudtsbestand under skadetærskel sprøjtes således ikke.
Deep convolutional neural network	Billedbehandlingsmetode som leder efter og genkender specifikke strukturer i input data, f.eks. har billeder af plantearter genkendelige 2- og/eller 3D strukturer. Metoden er unik ved at der kun er behov for relativt lidt manuelt input i forhold til andre billedklassifikationsalgoritmer ved at det neurale netværk indfører filtrering af data i flere lag. Metoden forudsætter dog at der indlæses store mængder billedmaterialer af plantearterne i forskellige situationer for at opnå statistisk sikkerhed for genkendelse af plantearter. Metoden er udbredt ved overvågningsopgaver såsom identifikation af ansigter, objekter og trafikskilte.
Drone	Drone er en generel betegnelse for et førerløst luftfartøj, men betegnelsen drone anvendes oftest i forbindelse med en fjernstyret helikopter med mellem 3 og 8 propeller som typisk er udstyret med GPS og trådløse kameraer.
Dyse	En dyse har et indsnævret ende stykke, hvori der strømmer sprøjtevæske. Dysen omsætter trykenergi til bevægelsesenergi, således at der opnås hurtig og dermed langtrækkende væskestrøm bestemt af ende stykkets udformning og væskestrømmes trykforhold. En dyse bestemmer dråbestørrelse og hvor meget sprøjtevæske der bliver udsprøjtet til sprøjtemålet.
Elektromagnetventil	Ventiler som aktiveres af en elektromagnet ved spændingspåvirkning og anvendes blandt andet til styring af gas, olie og væsker. Afhængig af design, kan magnetventiler skifte meget hurtigt.
Flourometer	Et fluorometer/flourimeter er en særlig type af optisk udstyr til måling af fluorescens; dens intensitet og emissionens bølgelængdefordeling efter lyspåvirkning med et bestemt spektrum af lys. Disse parametre bruges til at identificere tilstedeværelsen og mængden af specifikke molekyler i et medium, for eksempel klorofyl i planter.
Fluorescens	Fluorescens er udsendelsen af lys fra exciterede molekyler. Molekyler kan exciteres ved absorption af lys, derved skydes en elektron op i et højere energiniveau. Den absorberede energi kan derefter forlade molekylet som stråling idet elektronen falder ned i sit oprindelige energiniveau. Dette er tilfældet ved elektronoverførslen fra fotosystem II til fotosystem I, som er en vigtig del af fotosyntesen. Den stråling som planter udsender benævnes klorofyl fluorescens. Da elektronen har mistet lidt af sin energi inden den falder ned i sit oprindelige energiniveau har den stråling der udsendes som fluorescens en længere bølgelængde end den stråling der oprindeligt blev absorberet.
GIS	Forkortelse for Geographical Information System, som er IT baserede systemer hvormed man kan lagre, manipulere og hente data om geografisk information. GIS er et IT-værktøj, der som analyse- og visualiseringsredskab kan give overblik over data med en geografisk relation. GIS værktøjer kobler data til digitale kort, hvorved det bliver muligt at afdække geografiske sammenhænge og statistik.
GPS	Forkortelse af Global Positioning System, som er blevet en fællesbetegnelse for satellit baserede systemer der benyttes til positionsbestemmelse og navigation overalt på jorden.
Gyroskop	Sensorer baseret på et mikroelektromekanisk system (MEMS) eller fiberoptiske principper, der kan måle om en ting vender sig i en retning i forhold til sin egen akse. Kombinationen af et gyroskop og en bevægelsessensor gør det muligt at regne ud hvordan en ting bevæger sig. Både i forhold til sig selv og i forhold til omgivelserne.
Injektionsudstyr	Udstyr til direkte injektion leder med en rullepumpe koncentreret sprøjtemiddel fra separate kemibeholdere ind i de slanger, der leder vand fra sprøjtes vandtank til dyserne. Kemikalierne suges op fra et antal beholdere, der indeholder koncentrerede flydende midler eller opløsninger af disse eller opløsninger af fast formulerede midler. Ved skift mellem midler gennemføres der en gennemskylning og rengøring af systemet.
IPM	Integreret plantebeskyttelse. Består af 8 generelle principper som i hovedtræk har til formål at jordbrugere skal gøre så meget som muligt for at forebygge angreb af skadedyr og dermed reducere behovet for plantebeskyttelsesmidler.

ISOBUS	ISOBUS er en datakommunikationsstandard for landbrugsmaskiner. ISO står for International Standardisation Organisation, og BUS er et computerudtryk, der dækker over kommunikation af data fra én enhed til en anden, dvs. en standardiseret datakommunikation.
Kørespor	Usåede spor anlagt i marken afpasset efter arbejdsbredde på sprøjtebomme, gødningspredere og andre maskiner som anvendes under afgrøders vækst.
LAI	Forkortelse for 'leaf area index' (bladarealindeks) som er forholdet mellem en plantebestands bladareal og jordoverfladeareal: LAI = bladareal/grundareal.
Luftinjektionsdysse	Dyser med et kammer hvor væske blandes med luft. Luft suges ind i kammeret via små huller øverst i dysen.
Machine learning	En blanding af statistik og computerteknologi hvorved computere på baggrund af avancerede algoritmer kan finde mønstre og bygge modeller over vigtige sammenhænge i store mængder af historisk data. Modellerne opdateres og forbedres automatisk og kontinuerligt således modellerne efterfølgende kan anvendes til at sandsynliggøre sammenhænge eller svare på spørgsmål.
Machine vision	Består typisk af et eller flere kameraer og en computer. Computeren udfører digital billedbehandling og leverer billedbaseret automatisk registreringer og analyse, for eksempel til at genfinde afgrøderækker. Ved machine vision forstås integration af eksisterende teknologier og metoder på nye måder og anvendelse af disse til at udføre automatiseringsopgaver.
Marksprøjte	Horizontale bomsprøjter, dvs. liftmonterede marksprøjter, trailer (bugserede) sprøjter og selvkørende sprøjter for udbringning af plantebeskyttelsesmidler langs en bom eller i bånd, der genererer en sprøjtetag, der er rettet nedad
NDVI	Forkortelse af Normalised Difference Vegetation Index. Metode til indirekte at bestemme planternes biomasse ud fra målinger af planternes refleksion (reflektans) af lys i to bølgelængder, nærinfrarød (NIR) og rød (VIS-R). NDVI beregnes med formlen: $NDVI = (NIR - VIS - R) / (NIR + VIS - R)$
OnFarm forsøg	Markforsøg som gennemføres af og på jordbrugerens marker og oftest med jordbrugerens egne maskiner og registreringer, hvorved hypoteser og forsøgsplaner tilpasses efter lokale forhold og formål. OnFarm forsøg er egnede til afprøvning af få behandlinger, sorter, jordbehandlinger, gødskning eller plantebeskyttelse.
Præcisionsteknologi	Teknologier som indgår i et præcisionsjordbrugskoncept. Består af både software og hardware til at overvåge, registrere og reagere på variationer på markniveau. Teknologierne bidrager til optimering af afgrødevækst, ressourceforbrug og mere effektiv produktion. Omfatter mange forskellige hardwareteknologier såsom automatiserede systemer, styresystemer, sensorer og overvågningsenheder samt software for maskin- og driftsstyring.
Reaktionstid	Den tid som der går mellem en funktion på en maskine er aktiveret elektronisk til funktionen er udført i fysisk forstand.
Real-tid	Betyder at en computerstyring opfatter begivenheder med samme timing som begivenheder i den fysiske verden.
Reflektansmåling	Måling af indstråling og refleksion fra afgrøden i forskellige bølgelængder.
RVI	Forkortelse af Ratio Vegetation Index. Metode til indirekte at bestemme planternes biomasse ud fra målinger af planternes refleksion (reflektans) af lys i to bølgelængder, nærinfrarød (NIR) og rød (VIS-R). RVI beregnes med formlen: $RVI = (NIR) / (VIS - R)$
Sektionsstyring	Elektronisk og automatisk til- og frakobling af individuelle redskabssektioner på baggrund af styringens GPS registreringer af tidligere placeringer og doseringer på marken, hvorved unødigt overlap undgås
Sprøjtebom	Konstruktion på sprøjte udført i jern, glasfiber eller aluminium hvorpå et antal dyser og tilhørende rørføringer er monteret på tværs af kørselsretning. En sprøjtebom er typisk sektionsopdelt og kan foldes i transportstilling.
Sprøjteteknologi	Teknologier for præcis tildeling af plantebeskyttelsesmidler, reduktion af afdrift og sikker håndtering af plantebeskyttelsesmidler.
Tildelingsalgoritme	En matematisk eller statistisk formel som inddrager flere forskellige biologiske og

	agronomiske parametre for udregning af dosering.
Tildelingskort	Et digitalt kort over doseringer med en geografisk relation. Tildelingskort kan dannes på baggrund af en eller mange forskellige registreringer i marken før eller under dosering i marken.
Ultralyd	Lyd med en frekvens der overstiger den øvre grænse for hvad det menneskelige øre kan opfatte. Højfrekvente lyde anvendes ifbm. sensorer til at måle afstanden til for eksempel jordoverflade eller afgrøde.
Variabel tildeling	Dosering justeres op eller ned afhængig af registeret behov eller ud fra tildelingskort

Sprøjte- og præcisionsteknologi for reduktion af jordbrugets forbrug af plante- beskyttelsesmidler

Intelligent sprøjteudstyr og præcisionssprøjtning i jordbruget kan bidrage til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler. Rapporten gennemgår de teknologiske muligheder, status for disse i 2017, beskriver udfordringer og barrierer, samt giver forslag til, hvordan øget anvendelse af sådanne teknologier kan opnås.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk