



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Statusrapport for sprøjte- og præcisionsteknologi for reduktion af landbrugets forbrug af plantebeskyttelsesmidler

## En status for udvikling, barrierer og forslag til videre handling i 2022

Miljøprojekt nr. 2221

Januar 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Poul Henning Pedersen, SEGES Innovation

Rasmus Emil Jensen, SEGES Innovation

Grafiker/bureau: Stockholm Creative

ISBN: 978-87-7038-468-1

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

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Introduktion</b>	<b>8</b>
3.1	Baggrund for rapporten	8
3.2	Definitioner vedrørende reduktionspotentiale	9
3.3	Definitioner af modenhed af teknologier	10
<b>4.</b>	<b>Modne præcisionsteknologier og værktøjer</b>	<b>12</b>
4.1	Autostyring og GPS-styret åbne/lukke af bomsektioner /dyser	12
4.2	Pletsprøjtning	13
4.3	Gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler	14
4.4	GPS-styret præcisionsrækkedyrkning	16
4.5	Sprøjteteknik	17
4.6	Reduktionspotentiale ved øget adoption af modne præcisionsteknologier	21
<b>5.</b>	<b>Præcisionsteknologier og værktøjer under udvikling</b>	<b>23</b>
5.1	Droneteknologi	23
5.2	Satellitter og præcision	24
5.3	Selvkørende redskabsbærere	25
5.4	Sprøjter monteret på selvkørende redskabsbærere	25
5.5	Termisk ukrudtsbekæmpelse	26
5.6	Laserstråler og elektricitet	27
5.7	Applikationer til smartphones og andre teknologier	27
<b>6.</b>	<b>Udfordringer og barrierer for øget adoption af præcisionsteknologi</b>	<b>28</b>
6.1	Graduering og pletsprøjtning	28
6.2	Terminaler og filformater	29
<b>7.</b>	<b>Handlingsplan for øget adoption af præcisionsteknologi</b>	<b>30</b>
7.1	Kort sigt	30
7.2	Langt sigt	31
<b>8.</b>	<b>Ordforklaring</b>	<b>32</b>
<b>9.</b>	<b>Litteratur</b>	<b>33</b>

# 1. Forord

Sprøjte- og præcisionsteknologi kan bidrage til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler. Sprøjtemiddelstrategien 2022-26 har et mål om en større udbredelse af præcisionsjordbrug og derved bidrag til at sænke pesticidbelastningen. På den baggrund har Miljøstyrelsen anmodet SEGES Innovation om at udarbejde nærværende rapport.

I rapporten beskrives de teknologiske muligheder, udfordringer og barrierer, samt forslag til, hvordan øget anvendelse af sådanne teknologier kan opnås. Der skelnes i rapporten mellem tilgængelige præcisionsteknologier og værktøjer, der er på markedet i dag (moden teknologi) og teknologier, som er under udvikling.

SEGES Innovation har sammen med Aarhus Universitet tidligere udarbejdet rapporten 'Status for de teknologiske muligheder for at anvende intelligent sprøjteudstyr' (2018). Nærværende rapport følger efter anmodning fra Miljøstyrelsen op på denne tidligere rapport. SEGES Innovation har udført opgaven med inddragelse af viden fra Aarhus Universitet og en række aktører i branchen.

Tak til alle, som velvilligt har stillet oplysninger og viden til rådighed. Særlig tak til Michael Nørremark fra Aarhus Universitet for kommentering og forslag til rapporten.

## 2. Sammendrag

Sprøjte- og præcisionsteknologi bidrager til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler og kan i fremtiden bidrage i endnu højere grad. Potentialet for at reducere forbruget ved øget anvendelse af modne teknologier, som er på markedet og bliver understøttet med service og rådgivning, er vist i tabel 1. Det er teknologier, som er kendte, og investeringer kan et stykke hen ad vejen foretages ud fra beregninger af rentabilitet og en vurdering af de fordele, man vil kunne opnå ved den nye teknik. Baggrunden for tabel 1 findes i bilag 1.

I afsnit 5 er omtalt en række præcisionsteknologier, som kan betegnes at være under udvikling, fordi de endnu ikke er markedsførte og understøttet af servicefunktioner. Disse teknikker vil også på længere sigt have nogle reduktionspotentialer, som er beskrevet i afsnittet.

Det er særligt GPS-autostyring og GPS-styret åbne og lukke af sektioner eller enkeltdyser på sprøjtebommen, som nu er implementeret i dyrkningen af en stor del af landbrugsarealet. Ifølge Danmarks Statistik (2022) praktiseres autostyring på 76 procent og sektionsaflukning på 57 procent af det dyrkede areal. En betydelig del af potentialet for at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmidler ved at undgå dobbeltbehandling, er dermed udnyttet.

I en modelberegning omfattende 2.971 marker på Bornholm er det estimeret, at autostyring og sektionslukning reducerer dobbeltbehandling med 2-4 procent, afhængig af GPS-systemernes nøjagtighed (afsnit 4.1). I forhold til tidligere vurderinger af GPS autostyring og sektionslukning til at reducere dobbeltbehandling, er det i modelberegningen vist, at 3,8 procent dobbeltbehandling ikke kan undgås, når det skal sikres, at hele arealet rammes af sprøjtevæsken. Den uundgåelige dobbeltbehandling skyldes, at der ifølge forudsætningerne, vil forekomme et overlap langs alle kiler og foragre på 25 cm. Der kan hentes endnu 1 procent mindre dobbeltbehandling ved at gå fra sektionskontrol til enkeltdyse åben/lukke. I tabel 1 er anvendt et reduktionspotentiale på 4 procent for GPS-autostyring og sektionskontrol. Det er mindre end tidligere vurderet (Miljøstyrelsen, 2018), hvor der blev vurderet et reduktionspotentiale på 5-10 procent. Denne forskel er diskuteret i afsnit 4.1.

Tabel 1 viser endvidere reduktionspotentialet for yderligere udbredelse af pletsprøjtning baseret på dronefotos, graduering af plantebeskyttelsesmidler, præcisionsrækkedyrkning samt bedste tilgængelige sprøjteteknik. Reduktionspotentialet bygger på en kombination af afprøvninger og faglige skøn. Dette er der nærmere redegjort for i noterne til tabellen i bilag 1. Der er også taget hensyn til, i hvilke afgrøder de enkelte teknologier kan anvendes, og for hvilken andel af sprøjteopgaverne med plantebeskyttelsesmidler teknikken er relevant. I hvilket omfang potentialet for at implementere de nævnte teknologier kan indfries, er begrænset af flere faktorer. Små bedrifter vil ikke have mulighed for at løfte opgaven på rentabel vis, da der er tale om relativt store investeringer i forhold til deres omsætning. For alle bedrifter gælder, at udskiftning og nyinvesteringer skal ind i den langsigtede investeringsplanlægning, som kan række 5-10 år frem. Har en bedrift eksempelvis investeret i en nyere sprøjte, skal der være betydelige økonomiske gevinster at hente for at ændre på investeringsplanen, såfremt investeringen skal være rentabel.

Endelig er i tabellen angivet en andel af areal, hvor teknologien kan implementeres. For autostyring og sektionsluk er angivet den andel af landbrugsarealet, hvor disse teknikker ifølge Danmarks Statistik endnu ikke anvendes. For andre teknikker er arealet vurderet. Eksempelvis forventes et lille areal med vinterraps, hvor præcisionsrækkedyrkning kan tages i brug. Vinterraps er godt nok velegnet til dyrkning som rækkeafgrøde, men det realistiske potentiale på kort sigt er lavt.

Samlet er der på baggrund af de opstillede scenarier beregnet en reduktion for anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler med cirka 5 procent på kort sigt (frem til og med 2026).

**TABEL 1.** Den forventede reduktion af anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler ved øget anvendelse af teknologier, som i dag er markedsførte og i drift i landbruget. Reduktionen er angivet i procent, og der er derfor ikke en direkte sammenhæng med reduktion af belastning og mængde.

Teknologi	Relevante afgrøder	Reduktionspotentiale (%)	Implementeringspotentiale (%)	Andel af sprøjteopgaver hvor teknologien kan anvendes (%)	Andel af areal hvor teknologien potentielt kan adopteres (%)	Reduktionspotentiale iff. Samlet areal og pesticidforbrug inden 2026 (%)
Autostyring og GPS sektionssluk til at reducere dobbeltbehandling	Vintersæd, vårsæd, vinterraps, majs, frøgræs, kartofler, roer	4 <sup>1)</sup>	90	100	24/43 <sup>2)</sup>	1,1
Pletsprøjtning – dronfotos og managementværktøj	Vintersæd, vårsæd, majs, frøgræs, kartofler, roer	75 <sup>3)</sup>	20	1,5-15	100	1,4
Graduering af plantebeskyttelsesmidler	Vintersæd, vårsæd, frøgræs	10 <sup>4)</sup>	30-40	13-27	30-40	0,3
Præcisionsrækkedyrkning	Vinterraps, majs, frøgræs, kartofler og roer	15-75 <sup>5)</sup>	5-20	15-90	15-80	0,7
Forbedret sprøjteteknik ved fladebehandling	Vintersæd, vårsæd, vinterraps, majs, frøgræs, kartofler, roer	2-5	75	100	30-50	1,8
<b>5,3</b>						
<b>Samlet reduktionspotentiale på kort sigt (2026)</b>						

<sup>1)</sup> Enkeldyseluk vil, i forhold til sektionssluk, reducere dobbeltbehandling med yderligere 1,3 procent.

<sup>2)</sup> Første tal er for autostyring og andet tal for sektionssluk.

<sup>3)</sup> Skønnet gennemsnitstal. Der vil være stor variation afhængig af fordeling af ukrudt i markerne.

<sup>4)</sup> Reduktionspotentiale for vækstreguleringsmidler.

<sup>5)</sup> Reduktionspotentiale opnås primært ved båndsprøjtning. Se noter til præcisionsrækkedyrkning i bilag 1.

### Udfordringer og barrierer

Ved investeringer i ny teknologi er det vigtigt at kunne sandsynliggøre de økonomiske gevinster ved reduktion i pesticidforbruget og/eller andre fordele. Derfor er forsøg og undersøgelser, som kan dokumentere dette vigtige. Forsøg vil typisk være teknisk og statistisk komplicerede og kræver derfor betydelige ressourcer.

Brugeren oplever ofte vanskeligheder med at få en ny teknik til at virke i praksis. Uddannelse hos både bruger og leverandør er derfor nødvendig, og der skal tilbydes service og rådgivning om anvendelsen af den nye teknik. Det er også vigtigt, at der er ressourcer til at 'færdiggøre' teknologierne, eksempelvis at filhåndtering mellem forskellige terminaler kan ske på en standardiseret måde.

### **Handlemuligheder**

For yderligere at implementere autostyring og sektionsluk er der mulighed for opdatering af mange af de ældre sprøjter, hvorfor der er et stort potentiale for, at disse teknikker kan implementeres på hovedparten af landbrugsarealet. Det kan eksempelvis understøttes med rådgivning og information, herunder indsamling af oplysninger om udstyr, priser og leverandører, samt udarbejdelse af et sæt standardkalkuler.

For at styrke sprøjteførernes/driftsledernes kendskab til præcisionsteknologiens muligheder for at målrette og reducere pesticidanvendelsen foreslås, at der udarbejdes et specifikt undervisningsmateriale om præcisionsteknologi, som kan styrke emnet på opfølgingskurserne for sprøjtecertifikat. Dette bl.a. for at motivere deltagerne til at søge yderligere viden, efteruddannelse og rådgivning. Endvidere anbefales det at se på, hvordan der kan tilbydes målrettede kurser for praktikerne om anvendelsen af præcisionsteknikkerne.

Med henblik på at skabe den nødvendige finansiering af afprøvninger og dokumentation foreslås det som første trin, at finansieringsmulighederne belyses ved inddragelse af interesserterne. Der tænkes her på mulighederne for at skaffe midler til forskellige afprøvninger ved at danne partnerskaber mellem eksempelvis sprøjtefabrikanter, planteværnsfirmaer, SEGES og Miljøstyrelsen. Det kan eksempelvis være til at dokumentere i markforsøg, om brugen af svampemidler kan reduceres ved graderet sprøjtning, frem for som nu, hvor der som udgangspunkt sker en omfordeling af svampemidlerne i marken men uden en reduktion i forbruget af svampemidlerne.

Tilskud er et kendt virkemiddel. Men det vurderes at være vigtigere, at der kan skaffes midler til at gøre produkter og teknologier 'færdige' og få dem afprøvet under praksisnære forhold, så brugerne oplever en problemfri drift, når teknikken bliver anskaffet.

# 3. Introduktion

Formålet med denne rapport er:

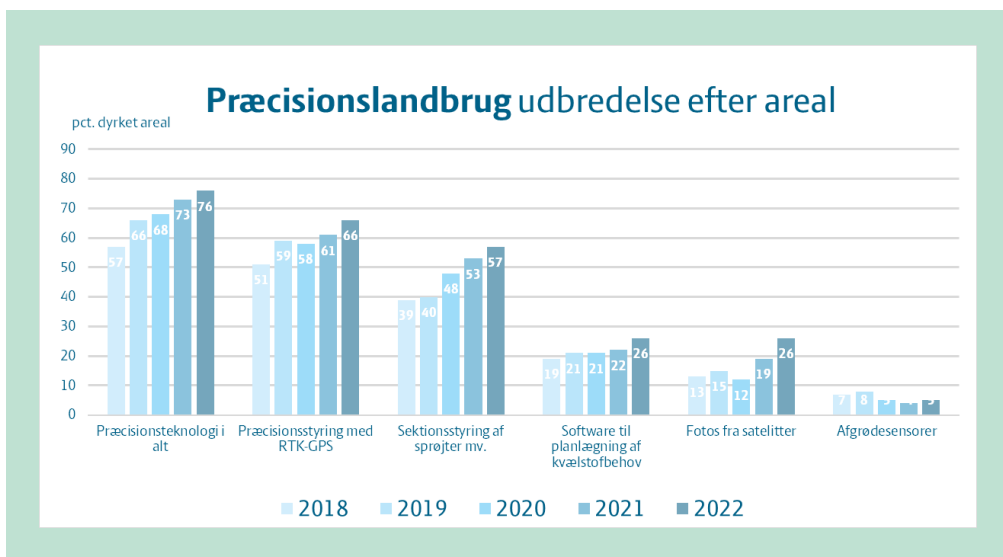
- at skabe et opdateret overblik over de tilgængelige præcisionsteknologier og værktøjer, der er på markedet i dag, og som vil kunne bidrage til en reduceret anvendelse af plantebeskyttelsesmidler
- at vurdere potentialet for reduktion af plantebeskyttelsesmidler ved anvendelse af disse teknologier
- at undersøge præcisionsteknologier og værktøjer under udvikling og vurdere deres potentielle for ibrugtagning og reduktion af plantebeskyttelsesmidler
- at identificere de udfordringer og barrierer for øget ibrugtagning og videre udvikling af teknologierne, der fortsat eksisterer på området
- at give konkrete forslag til videre handling, der kan øge brugen af præcisionsteknologierne og reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler.

## 3.1 Baggrund for rapporten

Sprøjtemiddelstrategien 2022-2026 anfører, at udbredelse af præcisionsteknologi har potentialet, til fremadrettet at reducere brugen af plantebeskyttelsesmidler yderligere og udgøre et paradigmeskifte i reguleringen af sprøjtemidler i Danmark. Herunder at understøtte det gode landmandskab, via et skifte, til behovs- og præcisionssprøjtning bl.a. med henblik på at undgå dobbeltsprøjtning.

I 2018 blev en rapport med titlen "Sprøjte- og præcisionsteknologi for reduktion af jordbrugets forbrug af plantebeskyttelsesmidler" udgivet. I den mellemliggende periode er der sket en stor fremgang og udvikling i præcisionsjordbrug og nye værktøjer, sprøjtesystemer, dronebaserede værktøjer og robotteknologi, som beskrives i denne rapport.

Tal fra Danmarks Statistik (2022) viser, at præcisionsjordbrug udvikler sig hastigt og i de seneste år er andelen af landbrug med mulighed at anvende præcisionsteknik og værktøjer steget kraftigt. Figur 1 fra Nyt fra Danmarks Statistik nr. 327, 27. september 2022 viser udviklingen. Undersøgelsen er baseret på spørgeskemaer besvaret af 23.592 bedrifter svarende til 77 procent af alle danske landbrugsbedrifter.



**FIGUR 1.** Præcisionslandbrug – udbredelse efter areal. Modificeret efter Danmarks Statistik, Statistikbanken, 2022.



Det er især de store landbrug, som har investeret i præcisionsteknologi. I gennemsnit har bedrifter med præcisionsteknologi 179 ha, mens gennemsnit for alle landbrug i undersøgelsen er 87 ha. I forhold til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler, er det især interessant at iagttage udviklingen for RTK-GPS, sektionsstyring af sprøjter og fotos fra satellitter/droner.

En undersøgelse udført af Teknologisk Institut (2021) blandt cirka 150 landmænd med sektionskontrol viste, at 85 procent har sektionskontrol på 2-4 meter og 11 procent på dyseniveau (0,25 – 1 meter). Af de adspurgte brugte 38 procent det gratis EGNOS-GPS-signal, og 56 procent brugte RTK-GPS-signal, som er et højpræcist referencesignal med betaling.

Hos forskningsinstitutioner og virksomheder i landbrugsbranchen er der en stor aktivitet med udvikling i værktøjer til pletsprøjtning, automatisk registrering/genkendelse af ukrudt og robotteknologi. Tallene for anvendelse af satellitter/droner fra Danmarks Statistik (2022) og et stigende antal artikler om landmændenes erfaringer med anvendelse af denne præcisionsteknologi viser, at der også er en stigende efterspørgsel. Landmændenes villighed til at benytte præcisionsteknologi er også blevet bekræftet i en undersøgelse blandt landmænd, udført på vegne af BASF i 2021. Her svarede cirka 50 procent af de landmænd, som *ikke* bruger præcisionsteknologier på deres bedrift i dag, at de mener, at præcisionsteknologi vil være *vigtig* eller *meget vigtig* for deres bedrift i fremtiden. I samme gruppe svarede 45 procent ja til, at denne teknologi vil omfatte sektions- og/eller gradueringsstyring af deres marksprøjte.

## 3.2 Definitioner vedrørende reduktionspotentiale

Reduktion af den anvendte mængde plantebeskyttelsesmiddel i en mark kan ske på flere måder, som beskrevet i de følgende underafsnit. Ved gennemgangen af tilgængelige præcisionsteknologier og værktøjer henvises til denne beskrivelse af potentialer for reduktion af anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler. I nogle tilfælde vil teknologierne blive brugt i kombination med hinanden, men er her i rapporten omtalt hver for sig.

### 3.2.1 Reducere dobbeltbehandling i marken

Dobbeltbehandling opstår ved enderne og ved kiler i marken, hvor dyserne i en bomsektion eller hele bommen holdes åben for at få behandlet hele arealet. Uden teknologiske hjælpemidler vil sprøjteføreren sørge for et 'passende overlap', så der ikke opstår ubehandlede områder i marken. Der sker også dobbeltbehandling, når afstanden mellem køre/plejesporene, etableret ved såning, er mindre end sprøjtens bredde. Autostyring med GPS sikrer at kørespor placeres præcist i forhold til redskabernes bredde.

### 3.2.2 Pletsprøjtning og randbehandling

Pletsprøjtning er on/off-sprøjtning, hvor ukrudt optræder i afgrænsede delområder i marken, og man tilstræber kun at sprøjte disse områder. Det gælder især rodukudt som kvik og tidsler, og i mindre grad bekæmpelse af græsukrudt og tokimbladet frøukrudt, der som udgangspunkt er mere eller mindre jævnt fordelt i hele marken. Potentialet for reduktion af anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler afhænger meget af de aktuelle forhold i den enkelte mark. Når eksempelvis tidsler optræder i begrænsede pletter, kan potentialet være 90-95 procent. Er forekomsten mere udbredt, vil potentialet måske falde til 50 procent. Pletsprøjtning er ikke aktuelt for anvendelser af plantebeskyttelsesmidler til svampebekæmpelse, skadedyrsbekæmpelse og vækstregulering, og forventes heller ikke at blive det inden for en overskuelig årrække.

I nogle tilfælde findes ukrudt især i foragre og langs markkanter, deraf kommer udtrykket randbehandling, hvor der alene bekæmpes ukrudt langs markens kanter. Det gælder oftest opfølgning på en efterårssprøjtning mod ukrudt, hvor der om foråret er yderligere behov for behandling.

### 3.2.3 Graduering

Ved graduering af plantebeskyttelsesmidler, sker der en omfordeling af midlet inden for marken, på baggrund af større eller mindre forskelle i afgrøden, eller i områder af forskellig størrelse fordelt i marken, baseret på kendskab til jordbund, ukrudtsfrøpulje etc. Som oftest sker omfordeling på baggrund af forskelle i afgrødens biomasse. Graduering praktiseres, ved at justere dosis op og ned, inden for arealet, hvor den godkendte dosis altid vil være den øvre grænse.

### 3.2.4 Rækkedyrkning

Ved rækkedyrkning er der mulighed for separat at behandle afgrøden, som er etableret på række, eller at behandle mellem rækkerne. Behandlinger af afgrøden i rækken vil kunne være ukrudts-, svampe- og skadedyrsbekæmpelse samt vækstregulering. Behandling mellem rækkerne vil være ukrudtsbekæmpelse, som enten kan være kemisk eller mekanisk med eksempelvis radrenser.

### 3.2.5 Forbedret sprøjteteknik ved fladebehandling

En jævn fordeling af sprøjtevæsken under bommen er en forudsætning for at anvende reducerede doseringer. Ved ujævn fordeling bliver der områder, hvor dosis er for lav, til at sikre den ønskede effekt. Dette vil landmanden kompensere for, ved at anvende en højere dosis. Derfor vil alle teknikker, som forbedrer præcisionen for placering af sprøjtevæsken på målet, potentielt reducere den anvendte mængde plantebeskyttelsesmiddel.

## 3.3 Definitioner af modenhed af teknologier

Vi vil i rapporten skelne mellem 'modne' teknologier og teknologier, som er på vej og under udvikling. Som beskrevet i de følgende afsnit, kan der være teknologier, hvor nogle anvendelser er modne og godt på vej til i høj grad at være implementeret af landmændene, mens andre er under udvikling.

### 3.3.1 Modne teknologier

Modne teknologier er kendte, og investeringer foretages ud fra beregninger af rentabilitet og en vurdering af de fordele, man vil opnå ved den nye teknik. Leverandøren leverer som udgangspunkt udstyret sammen med en formel eller uformel servicepakke, som sikrer, at brugeren kommer i gang med at anvende teknologien. Implementeringshastigheden kan øges gennem information, rådgivning og incitamenter til landmanden.

Vurderingen af reduktionspotentialet for anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler i tabel 1 er baseret på det vi kalder modne teknologier.

### 3.3.2 Nye teknologier på vej

Ved nye teknologier på vej vil vi her forstå nyudviklet udstyr, som nu er kommercielt tilgængeligt. Der vil typisk opstå nogle udfordringer, når udstyret/teknologien skal tages i brug på bedriften. Det kan være tekniske tilretninger, som er nødvendige, eller det kan være udfordringer med at få software til at fungere. Teknologier i dette stadie vil typisk ikke være understøttet med en servicepakke fra leverandøren, og man har endnu ikke trænede servicemontører, som kan identificere problemerne. De vil blive løst ad hoc, hvilket let kan betyde udsættelse af ibrugtagning og driftsstop, som forsinker arbejdet på bedriften.

Tiltag, som kan sikre en så gnidningsløs implementering som muligt, vil nedsætte barrieren. Det vil sige god adgang til service og rådgivning, når teknologien sættes i drift. I mindre grad vil incitamenter som eksempelvis tilskud til anskaffelse af udstyret, fremme implementeringen. Det vurderes at være vigtigere, at der kan skaffes midler til at gøre produkterne 'færdige', så brugerne oplever en problemfri drift, når teknikken anskaffes.

### 3.3.3 Teknologier under udvikling

Teknologier under udvikling definerer vi som teknologier, der ikke umiddelbart er kommercielt tilgængelige for danske landmænd. For nye teknologier kan der være mangeartede barrierer. Der kan være lovgivning, som skal ændres. Eksempelvis vil optimal anvendelse af droner i landbruget kræve, at dronerne kan sendes afsted, uden under flyvningen, at skulle være overvåget af en person.

Det kan også være, at teknologien er udviklet andre steder i verden, men at der endnu ikke har været kommercielle muligheder i Danmark, eksempelvis udnyttelse af laserteknologi til ukrudtsbekæmpelse. Her kunne trin 1 være at undersøge om teknologien har et økonomisk potentiale, hvis den blev gjort tilgængelig, og derefter hvorledes der kan ske en import til DK/EU.

Et andet eksempel på en teknologi i denne kategori er automatisk ukrudtsgenkendelse og udarbejdelse af tildelingskort via RoboWeedMaps, som tilbydes af Patriotisk Selskab. I foråret 2022 er der kørt med kameraet på 300-500 ha (pers. medd. Patriotisk Selskab). Billederne uploades og bearbejdes i RoboWeedMaps, som leverer data om arter og tæthed. Der kan skelnes mellem græsukrudt og tokimbladet ukrudt, hvoraf det tokimbladede ukrudt artsbestemmes. Der kan stadig være arter, som kræver, håndholdt artsbestemmelse. Data går herefter videre til firmaet IPM Consult, som med beslutningsstøttesystemet IPMwise giver forslag til dosis ved forskellige ukrudtstætheder af de fundne arter. Hos firmaet Datalogisk udarbejdes et tildelingskort ud fra data om tætheder. Tildelingsfilen sendes herefter til landmanden. Der har været mange udfordringer med at indlæse tildelingsfilerne, og ikke alle landmænd har fået det til at virke. Der hvor det har virket, har bekæmpelsen af ukrudt været en succes og den samlede belastning fra pesticider reduceret.

# 4. Modne præcisionsteknologier og værktøjer

## 4.1 Autostyring og GPS-styret åbne/lukke af bomsektioner /dyser

Autostyring og GPS-styret åbning og lukning af bomsektioner eller enkelte sprøjtedyser giver en betydelig besparelse på forbruget af plantebeskyttelsesmidler, ved at reducere dobbeltbehandling i marken. Autostyring giver samtidig en tilsvarende besparelse på udsæd og brændstof. Og ikke mindst giver både autostyring og GPS-styret åbne/lukke af bomsektioner/dyser på sprøjten en stor gevinst for arbejdsmiljøet for traktor-/sprøjteføreren.

I rapporten for præcisionsteknologi for pesticidreduktion i 2018 (Miljøstyrelsen 2018), blev den samlede besparelse ved autostyring og GPS til sektionskontrol vurderet til at være 5-10%. Siden 2018 er der kommet ny viden til, som er medtaget i en ny vurdering af besparelspotentialet.

Teknologisk Institut (2021) har analyseret, hvor stort et areal der kan undgås at blive behandlet dobbelt, ved at beregne det behandlede areal på 2.971 marker på Bornholm med og uden anvendelse af henholdsvis autostyring, sektionskontrol af åbne og lukke af dyser samt åbne/lukke på enkeltдынiveau (tabel 2). Simuleringen viser, at dobbeltbehandling kan reduceres med 4 procent, når der anvendes RTK-autostyring og sektionsafluk. Reduktionen i den enkelte mark afhænger af både markens størrelse og form. Ifølge rapporten fra Teknologisk Institut, kan overlappet reduceres med yderligere 1,3 procent ved brug af enkeltдынseafluk frem for sektionsafluk.

**TABEL 2.** Areal der bliver dobbeltbehandlet med og uden anvendelse af autostyring med GPS og anvendelse af GPS til åbne/lukke af bomsektioner og enkeltdyser. Modificeret efter Teknologisk Institut 2021.

Teknologi	Dobbeltbehandling (%)
Uden præcisionsteknologi	9,1
EGNOS-GPS autostyring + sektionsstyret åbne/lukke	7,1
RTK-GPS autostyring	6,4
RTK-GPS autostyring + sektionstyret åbne/lukke	5,1
RTK-GPS autostyring + enkeltдынse åbne/lukke	3,8

Forskellen på præcisionen af GPS-afluk mellem det gratis EGNOS-signal og RTK blev også undersøgt. RTK + sektionsstyret åbne/lukke reducerede dobbeltbehandlingen med 2 procent i forhold til anvendelse af EGNOS + sektionsstyret åbne/lukke. For at opnå en optimal fordeling af plantebeskyttelsesmiddel, hvor hele arealet bliver behandlet, er det i rapporten vurderet, at RTK-applikationer skal bruge en buffer med dobbeltbehandling på 23 centimeter, hvor EGNOS-applikationer skal bruge 127 centimeter. Kørsel med det gratis signal er således, for

en del præcisionssprøjteopgaver, ikke præcist nok, og ved anvendelse til autostyring og sektionskontrol er hele potentialet ikke udnyttet. Bemærk også, at selv med RTK-GPS autostyring plus enkeltdyse åbne/lukke vil der stadig være en vis dobbeltbehandling. Modellen er valideret på 10 bedrifter ved at registrere aktuelle kørselsmønstre.

I beregningen af reduktionspotentiale for GPS-autostyring og -sektionskontrol, er regnet med et reduktionspotentiale på 4 procent. Det er en konservativ beregning i forhold til potentialet på de nævnte 5-10 procent, der blev vurderet i rapporten fra 2018. Forskellen består især i, at der i modelleringen udført af Teknologisk Institut er en uundgåelig dobbeltbehandling på 3,8 procent, hvilket formentligt er i overkanten. Markerne i modelberegningen var i gennemsnit 8,9 ha. Det må forventes at den uundgåelige dobbeltbehandling er væsentligt mindre på bedrifter med store regulære marker. I hele landet er markerne i gennemsnit cirka 5 ha. En anden usikkerhed er, at der kan være større individuelle forskelle på dobbeltbehandling fra bedrift til bedrift end antaget tidligere. Det er i høj grad sprøjteførerens rutine og færdighed, der afgør, hvor præcist der åbnes og lukkes ved foragrene og i kilerne, når der ikke anvendes GPS sektionskontrol.

Testen fra Teknologisk Institut viste også, at korrekt kalibrering i forhold til geometrimål er vigtig for præcis udførsel af sprøjteopgaver. Især korrekt måling og indtastning af afstanden fra GPS-antennen til dyserne er afgørende for præcist at åbne/lukke sektioner/enkelt dyser. Er denne indstilling ikke korrekt, vil man opleve en forskydning i kørselsretningen gennem hele sprøjteopgaven.

Autostyring ved brug af GPS-baserede systemer og sektionsstyring af sprøjter har som vist i tabel 1 allerede en udbredt anvendelse.

## 4.2 Pletsprøjtning

Pletsprøjtning kan gennemføres manuelt ved at åbne og lukke sprøjten, hvis sprøjteførereren har et indgående kendskab til marken, f.eks. områder med flyvehavre eller tidsler. Men det er få sprøjteopgaver, hvor det er relevant, og ofte har sprøjteførereren ikke tilstrækkeligt kendskab til marken. For at løse denne problematik er det nødvendigt med en præcis og troværdig kortlægning af de områder, der skal behandles. Ved de få sprøjteopgaver, hvor teknikken er relevant, er der til gengæld store besparelser på ukrudtsmiddel at hente. Endnu er pletsprøjtning kun relevant for ukrudtsbehandlinger, da vi ikke har viden til at kunne vurdere, om kortlægning af sygdomme og skadedyr til pletsprøjtning er mulig.

Der findes flere tilgange til at identificere ukrudt, der skal bekæmpes. De kan inddeles i to kategorier, selvom der vil være overlap mellem de to grupper: *on-the-go* (realtid) og kortlægning. Ved *on-the-go pletsprøjtning* håndteres identifikation og behandling i en arbejdsgang. Dette er eksempelvis sensorer/kameraer monteret på en sprøjtebom. Her bliver data i en arbejdsgang indsamlet, bearbejdet og oversat til hvilke dyser på sprøjtebommen, der skal åbne. Denne teknologi har været brugt i flere år andre steder i verden til f.eks. at nedvisne grønne planter, som forekommer spredt på store ensartede arealer. Et eksempel på denne tilgang findes i Australien, hvor ukrudt nedvisnes på denne måde før såning af næste afgrøde.

Der er flere bommonterede løsninger, der i øjeblikket testes i Europa og resten af verden og som er på vej til Danmark. Men det er ikke teknikker som er i brug i landbruget i Danmark endnu.

Med realtidsbehandling kan man opnå en høj opløsning på data (billeder), når de indsamles fra en lav højde. Dette muliggør også en anden tilgang end f.eks. farvegenkendelse, nemlig identifikation af ukrudt på artsniveau via bl.a. bladformer. Billeder med denne opløsning kræver meget lagringskapacitet og derfor tænkes denne metode ofte sammen med realtidsbehandling, hvor der ikke er behov for at lagre store mængder data.

Ved *kortlægning* i forbindelse med pletsprøjtning anvendes kamera eller sensor til at indsamle data på markniveau. Data bruges til at identificere ukrudt og lave tildelingskort ud fra. Identifikation af ukrudt på artsniveau kan optimere middelvalg i forbindelse med ukrudtssprøjtning.

Vi tænker ofte på droner, når vi taler om ukrudtskortlægning på markniveau. Men denne datatype kunne også indsamles i forbindelse med overkørsel af marken med forskellige landbrugsredskaber, eller måske i fremtiden fra satellitter. Nøglen er, at der sker en georefereret kortlægning af ukrudt, ud fra hvilken der kan laves et tildelingskort. Før lanceringen af pletsprøjtningens modulet i CropManager, der bruger Thistle Tool algoritmen til at genkende grønt rodukudt før høst, fandtes der ikke en nem og praktisk tilgang til at håndtere dronebilleder, identificere ukrudt og udlæse tildelingskort. Der findes i dag andre systemer med lignende kapacitet som f.eks. CultiWise. Med disse systemer, er arbejdet med at få dannet et fungerende tildelingskort blevet nemmere, men der er stadigvæk en udfordring, i at konstruere tildelingsfiler til alle terminaler og kombinationer af redskaber og terminaler (mere om dette i afsnit 6.2). Til kortlægning af ukrudt bruges oftest droner, og selv almindeligt markedsførte droner, har i mange tilfælde kapacitet til at udføre kortlægningen.

Pletsprøjtning er medtaget i dette afsnit med modne teknologier på grund af, at Thistle Tool er en del af CropManager, og at der findes tilsvarende løsninger.

### **4.3 Gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler**

Graduering udføres oftest på baggrund af en forud dannet tildelingsfil, der læses af en terminal og/eller jobcomputer på marksprøjtningen. Tildelingsfilen er oftest lavet ud fra et biomassekort på baggrund af satellitdata, men kan også være dannet ud fra forskelle i marken identificeret på dronebilleder, ved indtegnning af landmandens kendskab til f.eks. lejesædsrisiko i marken, ved brug af teksturdata eller ved målinger af jordens ledningsevne (EM38).

De programmer, der er mest udbredt i forbindelse med graduering, er alle i et eller andet omfang baseret på at anvende biomassekort fra satellit. Biomasse vises oftest som NDVI eller NDRE-indeks. Programmerne CropManager, Næsgaard Mark, CropSat, Atfarm, Farmworks, My JohnDeere og Cropline er de mest udbredte.

Der er også mulighed for at udføre en graduering 'on the go'. Her benyttes sensorteknik eller kameraer, som sidder forrest på køretøjet og observerer forskelle i marken, som sprøjtningen, der kommer umiddelbart efter, vil reagere på. Der er flere sensorteknologier, som er gennemprøvede og anvendt i praksis, mens kamerateknologierne er i sin vorden og ikke klar til anvendelse.

Tildelingsfiler til graduering laves som oftest til graduering i grid på minimum 10 x 10 m eller 20 x 20 m svarende til opløsningen på de anvendte satellitbilleder. I teorien kan mange nye sprøjter håndtere og gennemføre sprøjtning på dysniveau, hvis jobcomputeren kan håndtere det. Andre sprøjter kan sprøjte på sektionsniveau (forskellige bredder), og atter andre sprøjter kan udelukkende graduere i fuld sprøjtebredde, på op til f.eks. 36 meter.

Udbredelsen af graduering er omtalt i en undersøgelse fra Danmark Statistik (2022). Den viser at graduering af plantebeskyttelsesmidler bruges på 1 procent af bedrifterne og på i alt 6 procent af landbrugsarealet i 2021. Undersøgelsen bekræfter at graduering kun er lidt udbredt.

#### **4.3.1 Svampebekæmpelse og vækstregulering**

Det vurderes, at det fortrinsvis er vækstreguleringsmidler og herefter svampemidler, der gradueres. Flertallet vælger at graduere den dosis af midlerne, som de ville have valgt, hvis de udbragte en ensartet dosis. Ofte vælges et spænd på gradueringen på +/- 25 procent af den

valgte gennemsnitsdosis. Det er det maksimale spænd, som kan gennemføres med konventionel sprøjtning med hydrauliske dyser. Ved et spænd på +/- 25 procent er nedtrængningen i afgrøden ikke optimal og der er risiko for afdrift, som følge af trykændringerne, ved vanskelige vindforhold. Derfor er mere avancerede løsninger som omtalt i afsnit 4.5 ønskelige.

Ved graduering af svampemidler stræbes der mod, at opnå en ensartet koncentration af plantebeskyttelsesmidlet per biomasseenhed. Derfor doseres der op, hvor der er høj biomasse, og ned, hvor der er lav biomasse. Der er derfor normalt ikke tale om en reduktion af den samlede tildeling af svampemiddel. I forsøg er gradueret tildeling afprøvet med variationer i dosis på +/- 25 procent.

I markmanagementprogrammerne ligger der modeller til graduering, som ud fra et valgt biomassekort laver et forslag til omfordeling af plantebeskyttelsesmidler. Programmerne giver i større eller mindre udstrækning mulighed for, at brugerne kan tilpasse doseringen områdevis, på baggrund af deres eget kendskab til marken. Der vil også ofte være mulighed for at vælge mellem satellitbilleder fra forskellige datoer. Ofte foretrækkes det seneste biomassekort, da det er udtryk for det mest aktuelle biomasseniveau og afspejling af forskelle. Ældre biomassekort, eller ligefrem kort fra tidligere år, kan også i nogle tilfælde være relevante, men her kræves der især et indgående kendskab til arealet. Når omfordelingen er tilpasset, vil man i programmet kunne danne en tildelingsfil i det format man skal bruge, hvorefter filen kan overføres til USB eller sendes trådløs til traktorterminal.

Forsøg med svampekæmpelse har bekræftet, at denne faglige tilgang til omfordeling kan give udbyttegevinster fra ca. 0-3 hkg per hektar i vinterhvede, afhængigt af smittetrykket. Hverken ved tildeling af svampe- eller vækstreguleringsmidler i vinterhvede er der set udbyttetab ved graduering med +/- 25 procent af en fagligt funderet gennemsnitsdosis, som den ville være valgt til ensartet tildeling. Nogle vælger at graduere med det spænd, der er i markens biomasse, f.eks. gennemsnitlig biomasse +/- 10 procent.

For vækstregulering vil det normalt være dosis i den del af marken, som har størst behov, der er udgangspunkt for valg af dosis ved ensartet tildeling. Derfor er der en besparelse ved at graduere vækstreguleringsmiddel. Ved stor jordbundsvariation er det aktuelt at kombinere graduering med on/off tildeling. GPS-styring af sektionsafluk på såmaskine, gyllevogn og gødningspreder er en teknologi, som også bidrager til at reducere behovet for vækstregulering.

### **4.3.2 Ukrudtsbekæmpelse**

Graduering af ukrudtsmiddel anvendes endnu ikke i praksis. Ved ukrudtsbekæmpelse anvendes laveste dosis ved stor afgrødebiomasse og vice versa. En stor biomasse er udtryk for en god konkurrence fra afgrøden mod ukrudtet.

Hvis der er tilstrækkeligt kendskab til forskelle i ukrudtsfrøpuljen og/eller forskelle i jordens tekstur og indhold af organisk stof, kan det også være relevant at graduere ukrudtssprøjtningen med jordmidler. Der vil i fremtiden være mulighed for at få en monitorering med RoboWeedMaps eller tilsvarende kamerasystemer.

Gradueret udsædsmængde har i England vist sig at reducere forekomsten af agerrøvehale, da øget plantetal af afgrøden, hvor der er mest ukrudt, er med til at fremme afgrødens konkurrenceevne overfor ukrudt.

I praksis er gradueret bekæmpelse af ukrudt ikke i anvendelse ud over, at nogle landmænd manuelt graduere dosis op i foragre og andre områder af marken, hvor der er meget ukrudt. Dog anvender flere og flere gradueret udsædsmængde, der sikrer mere ensartede afgrøder, som også giver andre fordele end konkurrence mod ukrudt.

### 4.3.3 Skadedyr

Snegle kan være meget uens fordelt i marken, hvilket primært skyldes forskellige jordbundsforhold. Det vil være oplagt at graduere tildeling af sneglemidler, men endnu er der ikke udviklet redskaber til at lave en tilstrækkeligt kvalificeret graduering. Det forventes, at en række andre skadedyr også er uens fordelt i marken, så graduering er relevant. Men der mangler kendskab til, hvordan skadedyrene fordeler sig, hvor de forårsager skade og hvordan de kan detekteres forud for bekæmpelse med graderet dosis af skadedyrsmiddel.

## 4.4 GPS-styret præcisionsrækkedyrkning

Særligt inden for frøavl og roedyrking er der stor interesse for at dyrke afgrøderne på række, hvor position er kendt via såning med RTK-GPS styret såmaskine. Bekæmpelse af ukrudt sker som rækkesprøjtning imellem rækkerne og den øvrige anvendelse af plantebeskyttelsesmidler sker målrettet planterne i rækken (båndsprøjtning). Imellem rækkerne kan ukrudtsbekæmpelsen enten ske mekanisk eller kemisk, mens udbringning af svampe-, skadedyrs- og vækstreguleringsmidler imellem rækkerne tidligt i vækstsæsonen kan spares. Svampesprøjtninger i disse afgrøder ligger normalt sidst på sæsonen, hvor afgrøderne mere eller mindre dækker rækkerne, så potentialet for besparelse ved båndsprøjtning her er meget beskedent.

Præcisionsrækkedyrkning sker ved at kombinere kendt teknik. Det centrale er et præcist GPS-signal, der styrer de enkelte operationer. Nøjagtigheden skal være stor, så GPS-enheden skal placeres, hvor såaggregatet på såmaskinen er placeret, hvor dysen er placeret og hvor radrenserenskeret er placeret på radrenseren. Det giver utilstrækkelig nøjagtighed at placere GPS'en på traktoren.

På meget ensartede og flade marker er der mulighed for med GPS på bom at udnytte marksprøjtningen til at udføre bånd- og rækkesprøjtningen. Ved krav om særlig høj præcision som eksempelvis rækkedyrkning af frøgræs, vil et dobbelt sprøjtesystem med båndsprøjtning og skærmet rækkesprøjtning blive foretrukket.

Reduktionspotentialet afhænger af, hvilke sprøjteopgaver der udføres som båndsprøjtning, og i hvilket omfang mekanisk ukrudtsbekæmpelse indgår i konceptet. Ved båndsprøjtning af 10 centimeter med en rækkeafstand på 25 cm, bliver reduktionen på 60 procent og med en rækkeafstand på 30 cm, bliver reduktionen 67 procent. Er det omvendt imellem rækkerne der behandles, vil reduktionen være henholdsvis 40 og 33 procent. Det vil være i afgrødens tidlige vækststadier, at båndsprøjtningen henholdsvis rækkesprøjtning imellem rækkerne vil være aktuell, hvilket primært vil være ukrudtsbekæmpelse og vækstregulering.

GPS-styret rækkedyrkning er i hastig fremgang, og er taget med under tilgængelige teknologier, fordi de enkelte komponenter er udviklet og kan sættes sammen i løsninger. Interessen er stor for højbærdefrøer, som visse arter og typer af græsfrø, hvor der findes få kemiske ukrudtsmidler mod græsukrudt. For andre afgrøder, som bliver dyrket eller kan dyrkes på række, er der ikke samme incitament til at udvikle præcisionsrækkedyrkning. Dels findes der stadig effektive kemiske ukrudtsmidler, og dels er kapaciteten ved bredsprøjtning mange gange større. Det vil primært være flade og velarrangerede arealer, som er egnede til teknikken. På hældende arealer og arealer med mange sten, vil teknikken ikke være egnet.

Selv om der er indført incitament i form af tilskud i teknologistøtteordningen, må det forventes, at der på det korte sigte, er en lav grad af implementering, da frontløberne har oplevet mange begyndervanskeligheder (LandbrugsAvisen, juni 2022). Men der rapporteres om en stor interesse for køb af bånd- og skærmede rækkesprøjter, så det kan gå stærkere end her forventet. Forsikringsmæssigt vil det være et problem, hvis udstyret ikke er godkendt i henhold til CE-mærkningsreglerne.



## 4.5 Sprøjteteknik

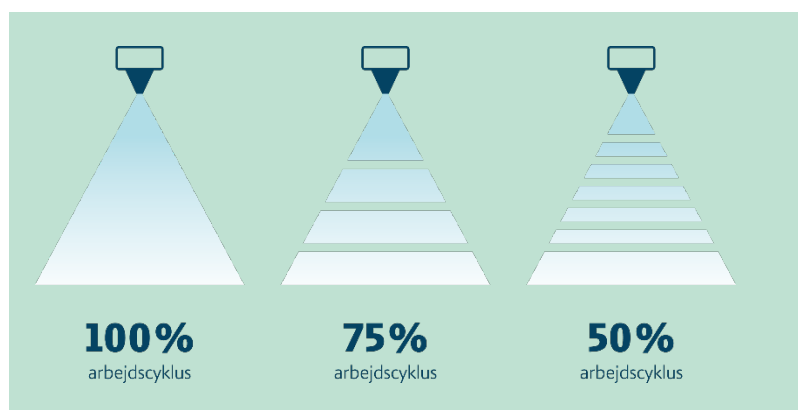
Sprøjteteknik giver en række teknologiske muligheder for at forbedre fordeling og præcision, ved udbringningen af plantebeskyttelsesmidler. Dette har både potentiale for at reducere den anvendte mængde og mindske risikoen for afdrift. Ved en uens fordeling under sprøjtebommen er der områder, som får en dosis, som ikke er effektiv mod skadevolderen, mens andre områder får en højere dosis end nødvendigt.

I det følgende gives en status for udbredelsen og den seneste innovation, som er sket på området.

### 4.5.1 Pulserende dyser

Når en marksprøjte, ikke mindst med brede sprøjtebomme, kører rundt i en kurve, opstår der i den side, hvor bommen bevæger sig hurtigst, steder i marken, hvor dosis er lavere. Tilsvarende bliver dosis højere i den side, hvor bommen bevæger sig langsomt. Pulserende dyser (*PWM – Pulse Width Modulation*) er en af måderne at løse dette problem. To variable bestemmer den udsprøjtede væskemængde, frekvens og åbnetid pr. puls. Dette er illustreret i figur 2.

Der findes en række PWM-systemer, f.eks. DynaJet fra TeeJet, LeapBox fra BBLeap og Hawkeye fra Raven.



**FIGUR 2.** Ved en pulserende dyse bestemmes den udsprøjtede vandmængde af frekvens og åbnetid (arbejdscyklus eller *duty circle*). SEGES Innovation.

Systemer med pulserende dyser kan have forskellig frekvens, eksempelvis 15 Hz eller 100 Hz. Den udsprøjtede vandmængde bestemmes derefter af kombinationen af frekvens og åbnetiden (arbejdscyklussen). Normalt vælges en arbejdscyklus på mellem 60 og 80 procent. Svinger bommen hurtigere øges arbejdscyklus og vice versa. Det kaldes kurvekontrol. Dysetrykket er uændret, så dråbestørrelsesfordelingen bliver ikke påvirket, og dermed ændres der ikke ved afdriften. Pulseringen er så hurtig, at der ved 'normal' kørehastighed vil være en jævn fordeling af sprøjtevæsken under bommen, selv om arbejdscyklus ændres op og ned. Yderligere vil frekvensen på nabodyser være asynkron, hvilket ved dobbelt overlap af sprøjtedouchen yderligere sikrer en jævn fordeling.

Når en sprøjteopgave eksempelvis udføres ved 75 procent arbejdscyklus kan dosis i pletter med et større behov øges med op til 25 procent. Tilsvarende kan dosis nedsættes med en lavere arbejdscyklus i pletter, med mindre behov. I forhold til det konventionelle dysesystem uden PWM, er der stort set ubegrænsede muligheder for at ændre dosis op og ned, uden at det påvirker kvaliteten af sprøjtedouchen og ændrer på dråbestørrelsesfordelingen.

Ud over kurvekontrol giver PWM mulighed for variabel tildeling på tværs af bommen. Pulseringen sikrer desuden jævn dosering ved åbne og lukke ved foragre og kiler og kan bruges til at udligne horisontale bomsvingninger.

I forhold til klassificering af afdriftsreduktion bliver dyser anvendt med PWM hos JKI nedklassificeret med ét trin. Dvs. en dyse med 90 procent afdriftsreduktion bliver nedklassificeret til 75 procent, medmindre den bliver testet og den høje klassifikation kan dokumenteres. Flere dyser er på listen over anerkendte afdriftsreducerende dyser og flere er på vej. Der findes et stort udvalg af dyser, som kan anvendes med PWM

### Effekt af pulserende dyser

Ved bekæmpelse af kartoffelskimmel løser pulserende dyser det problem, at der efter 11-12 gentagne behandlinger kommer skimmel i områder med for lav dosering i f.eks. kurver. Det vil være kilde til opformering af smitstof, som spredes sekundært til resten af marken. Mange løser i dag problemet ved at køre langsommere med samme dyseydelse, hvorved der sker en unødigt forøgelse af dosis under den side af bommen, som bevæger sig langsomt.

Ved bekæmpelse af ukrudt er det tilsvarende en ulempe, at der er steder i marken, som år efter år bliver tildelt en lavere dosering, således at der opbygges en frøpulje, som er arnested for frøspredning til den øvrige mark. Der er formentlig ikke mange sprøjteførere, som ved ukrudts-sprøjtning sænker kørehastigheden og fastholder dyseydelsen for at gå op i dosis i kurver.

**BILLEDE 1:** På ydersiden af kurven ses en kraftig bestand af italiensk rajgræs. Det er den akkumulerede effekt af lavere dosering som følge af sprøjtebommen her bevæger sig hurtigere. Effekten vil ofte ikke kunne ses det enkelte år, men efter en årrække (der ses også rajgræs i forgrunden, men forekomsten er her mere spredt). Foto: Poul Henning Petersen, SEGES Innovation.



### Reduktionspotentiale og økonomisk betydning

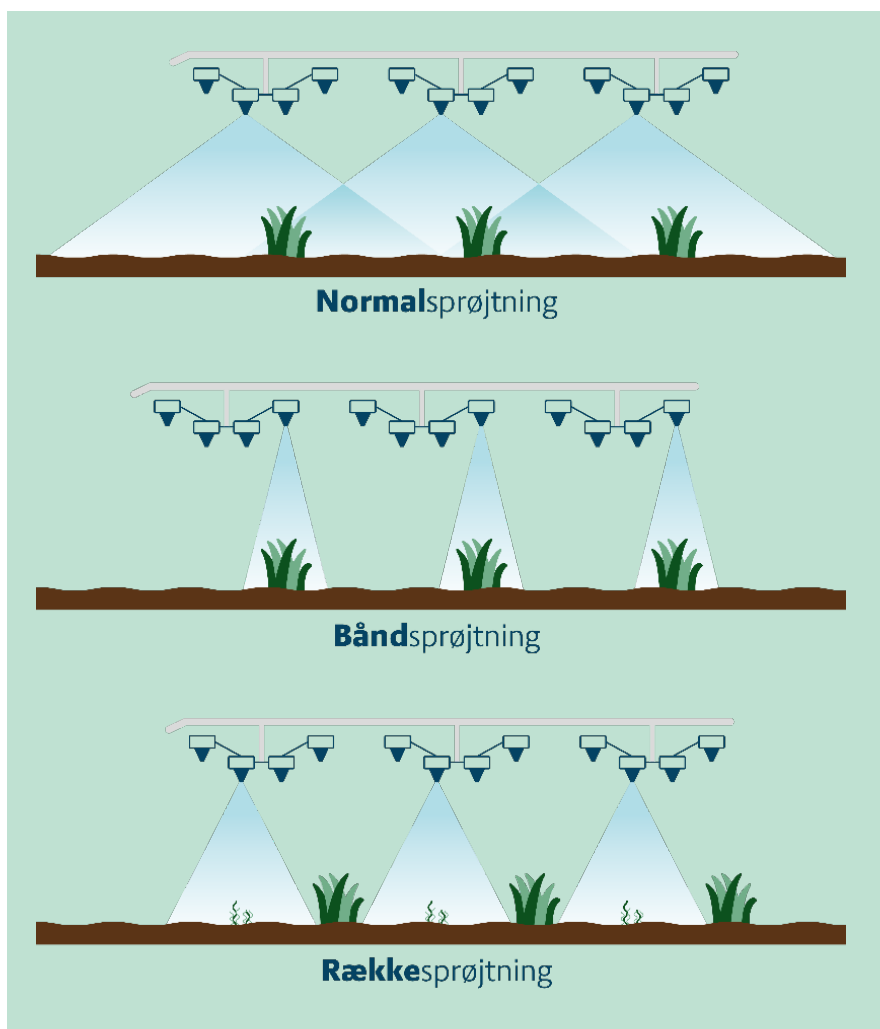
Pulserende dyser findes nu på nogle få sprøjter i Danmark. Der kan forventes stigende interesse for denne teknik, i takt med, at landbrugsbedrifterne bliver større og større, og derfor har behov for en stor kapacitet til at kunne udføre sprøjteopgaverne optimalt. Når dråbestørrelsen kan holdes konstant, opnås større fleksibilitet med hensyn til kørehastighed, hvilket øger sprøjtekapaciteten (ha/time).

Med hensyn til at opnå ensartet dosis ved kurvekørsel, er der arealmæssigt ikke tale om store arealer, men der kan være stor forskel på markernes form, bedrifterne imellem, afhængig af de geografiske forhold. Men for en sygdom som kartoffelskimmel, kan selv mindre arealer have betydning, på grund af denne sygdoms alvorlighed og høje smittepotentiale. Samlet set er potentialet for reduktion af forbruget af plantebeskyttelsesmidler ikke så stort, men pulserende dyser bidrager til IPM i kraft af, at der sikres en ensartet tildeling af midlerne ved udbringningen, og at det undgås at bruge højere dosis end nødvendigt, i marker med kurvede kørebaner.

## 4.5.2 Autoskift af dyser

Dysesystemer, som elektronisk skifter mellem 3-4 dyser uafhængigt af hinanden, er en anden måde at opnå et stort spænd, ved graderet tildeling af plantebeskyttelsesmidler og ensartet dosis ved kurvekørsel. Ved at lade flere dyser sprøjte samtidig, kan dosis graderes op og ned inden for et stort interval. Systemet gør det samtidigt nemt at skifte til afdriftsreducerende teknik, når og hvor det er påkrævet.

Eksempler på systemer med autoskifte af dyser er AmaSelect hos Amazone, EDS hos CHD og Knight, Bargam Seletron (dog pt. uden kurvekontrol) og EDS Quadro dysesystem og Varioselect hos Dammann. Et autoskiftsystem kan fungere på følgende måde. Hver dyseholder har 4 dyser, som yderligere kan udbygges til at kunne sprøjte med 25 centimeters dyseafstand. Det betyder, at sprøjten kan anvendes til båndsprøjtning i forskellige afgrøder med forskellig rækkeafstand (se afsnit om båndsprøjtning). Det er illustreret i figur 3. Systemet har også enkeltdyseafluk. Effekten svarer til vurderingen givet for pulserende dyser.



**FIGUR 3.** Princip for anvendelse af system med elektronisk dyseskifte til henholdsvis normal/bred-, række- og båndsprøjtning. SEGES Innovation.

### Reduktionspotentiale og økonomisk betydning

Ved anvendelse af autoskift af dyser til rækkesprøjtning er der et betydeligt reduktionspotentiale (se nærmere under 'Rækkesprøjtning').

Der findes os bekendt ingen afprøvninger eller modeller, der kan eftervise effekten af en forbedret fordeling af sprøjtevæsken under bommen, og dermed heller ikke i hvilken grad dosis

kan nedsættes i forhold til en standard sprøjteteknik. Men der er mange afprøvninger, som viser, at systemer med luftassistance, lav bomhøjde med 25 cm dyseafstand og grov forstøvning, alt andet lige, giver en mere ensartet fordeling af sprøjtevæsken under bommen. Vi skønner, at det på tværs af sprøjteopgaver giver et potentiale for at reducere dosis med 5 procent ved at bruge de nye/nyere forbedrede teknikker (lav bomhøjde med 25 cm dyseafstand, pulserende dyser, auto dyseskifte, luftassistance og luftsprøjter) frem for standardteknik med lavafdriftsdyse eller kompakte luftinjektionsdyser.

### 4.5.3 Injektionssprøjtning

Ved udbringning af plantebeskyttelsesmidler med injektionssprøjte bliver det koncentrerede middel tilsat sprøjtevæsken, i en *blandeenhed*, tæt på dyserne. Det betyder, at dosis løbende kan ændres, uden at ændre vandmængde og dråbestørrelse. Endvidere giver det mulighed for at tilsætte et eller flere midler ved plet- og randbehandling. For granulater og andre midler på fast form, skal der fremstilles en stamopløsning, som kan være svær at holde homogen, ligesom holdbarhed i vandig opløsning kan være en udfordring.

Der vil være en vis reaktionstid fra midlet tilsættes sprøjtevæsken til midlet bliver sprøjtet ud gennem dysen. Under kørslen sker der derfor en løbende beregning af tildelingsdata, så midlet er fremme ved dysen, når den eksakte placering af pletter, som ønskes sprøjtet, passerer med bommen. Det er dog ikke trivielt at udvikle systemer, der præcist bringer den ønskede dosis af et plantebeskyttelsesmiddel, frem til dysen, i det øjeblik en plet, som ønskes behandlet, passerer af sprøjtebommen. Reaktionstiden fra aktivering af injektionspumpe, til midlet er fremme ved dysen, kan variere helt fra 10 meter og op til 100 meter, og dosis er ikke nødvendigvis ens i hele bombredden. Disse forhold kan imødegås gennem bomcirkulation og indbygning af funktioner i terminaler, der i samspil med tildelingskort ser fremad. Det er oplyst, at der endnu ikke findes systemer, der fuldt har løst disse udfordringer (pers. medd.).

I Danmark er det primært Danfoil, som har specialiseret sig i injektionssprøjtning. Firmaet leverer mellem en fjerdedel og en tredjedel af deres sprøjter med injektion. Amazone har ligeledes et injektionssystem – DirectInject.

Tidligere var interessen for injektion størst fra maskinstationer, som hurtigt kan gøre sprøjten ren, ved skift fra kunde til kunde. Nu kommer interessen især fra landmænd, som ønsker at anvende systemet til plet- og randsprøjtninger og til graduering, ved udbringning af plantebeskyttelsesmidler.

### 4.5.4 Luft- og luftassisterede sprøjter

En af vejene til at reducere forbruget af plantebeskyttelsesmiddel, er at udføre sprøjteopgaverne på det helt optimale tidspunkt. Derfor har det betydning, at der på den enkelte bedrift, anskaffes en sprøjtekapacitet, der kan indløse denne rettidighedseffekt.

Aarhus Universitet har for Danfoil udarbejdet en rapport, som viser, at luftsprøjter er en af mulighederne til at øge sprøjtekapaciteten. Eksempelvis fordobles sprøjtekapaciteten, ved at gå fra 200 til 50 l vand med Danfoil, hvilket svarer til at øge tankstørrelsen fra 4.000 l til 12.000 l. For Hardi Twin og andre sprøjter med luftassistance, er den øgede sprøjtekapacitet lidt mindre, da vandmængden ofte vil være omkring 100 l pr. ha (se Aarhus Universitet 2021).

En anden effekt af luft- og luftassisterede sprøjter, er en mere ensartet fordeling af sprøjtevæsken under sprøjtebommen (fordel herved er omtalt i afsnit 4.5.2). Endelig giver luftassistance en yderligere mulighed, for at minimere risikoen for afdrift, under vanskelige sprøjteforhold.

## Reduktionspotentiale og økonomisk betydning

Der er ikke udført beregninger for reduktionspotentialet og den økonomiske gevinst ved anvendelse af luft- og luftassisterede sprøjter. Et væsentligt element i en vurdering af reduktionspotentiale og økonomi er, at denne teknik kan anvendes i alle afgrøder og hele det konventionelle omdriftsareal.

### 4.5.5 Styring af bomhøjde

Velfungerende bomsensorer er, sammen med et stabiliserende bomophæng, afgørende for at kunne køre med lav bomhøjde med brede sprøjtebomme. Ved 50 centimeters dyseafstand, kommer bommen ned i 45-50 centimeter og ved 25 centimeters dyseafstand, giver bomstyringssystemer mulighed for at køre helt ned til 25-35 cm. En lav bomhøjde reducerer afdrift væsentligt samtidig med, at der sikres en jævn fordeling af sprøjtevæsken under bommen.

Bomme med sektionsvis (to sektioner, dvs. hver side) styring af bomhøjde er endnu et skridt til at øge præcisionen i kuperet terræn. Endelig er en velfungerende sensorstyret bomhøjde forudsætningen for at kunne anvende bomsprøjter til båndsprøjtning. Det sikrer, at båndet der sprøjtes holdes i en stabil bredde og dermed en ensartet dosis.

## 4.6 Reduktionspotentiale ved øget adoption af modne præcisionsteknologier

En detaljeret beskrivelse af beregning/vurdering af reduktionspotentiale for modne teknologier findes i bilag 1 og en sammenstilling ses i tabel 1.

*GPS til autostyring* ved kørsel med marksprøjte anvendes i dag på 66 procent af landbrugsarealet og sektionsvis åbning og lukning af sprøjtebommen på 57 procent. Disse teknologier sikrer, at et mindre areal ikke behandles dobbelt, når der sprøjtes. Kombinationen af RTK-GPS autostyring og sektionsvis åbne og lukke på sprøjtebommen giver en reduktion af forbruget på henholdsvis 2,7 og 1,3 procent, dvs. 4 procent i alt. Hvis der yderligere sker åbning og lukning af sprøjten på dyseniveau, øges reduktionen til 5,3 procent. Det er en moden teknologi, som allerede er godt implementeret i landbruget, hvilket betyder, at der kan laves gode investeringskalkuler, konkrete arbejdsmiljømæssige fordele og reduktion i udgifter på andre hjælpepestoffer, såsom såsæd og brændstof. Der er beregnet et resterende reduktionspotentiale på 1,1 procent.

*Pletsprøjtning* er aktuel, hvor ukrudt forekommer i pletter. Det er nu muligt at danne et tildelingskort til marksprøjten, som er udarbejdet på baggrund af dronefotos. Billedbehandling af dronefotos viser forekomsten af ukrudt som tidsler og kvik. Det er vurderet, at pletsprøjtning potentielt på kort sigt, vil kunne reducere den samlede anvendelse af plantebeskyttelsesmiddel med 1,4 procent, mens det for de relevante behandlinger kan reducere anvendelsen med 30 – 90 procent alt afhængig af den tilgængelige teknik. Danmarks Statistiks tal viser, at der på 26 procent af det dyrkede areal i dag anvendes satellitdata/droner. Det vurderes, at kun en lille andel af dette vedrører pletsprøjtning, men tallet viser, at der er stor interesse for at udnytte satellitter og droner til monitorering og kortlægning.

*Gradueret tildeling* af svampemidler og vækstreguleringsmidler i vinterhvede er forsøgsmæssigt afprøvet, og viser sig, at give en mindre udbyttmæssig fordel. Der sker en omfordeling af det anvendte plantebeskyttelsesmiddel, men for vækstregulering vil der også ofte være potentiale for en besparelse af vækstreguleringsmiddel. Det er en vurdering, at graduering af svampemiddel og vækstreguleringsmiddel også er aktuel i vårsæd. Det er vurderet at reduktionspotentialet af den samlede anvendelse af plantebeskyttelsesmiddel, ved en øget implementering, vil være 0,3 procent.

*Præcisionsrækkedyrkning* har stor bevågenhed i frøavl, hvor der er få ukrudtsmidler til rådighed. Det er først og fremmest bånd- og rækkesprøjter, der pt. investeres i. Men også RTK-

GPS-styring ved såning og dernæst af sprøjtebommen og sensorstyring af bomhøjde, giver præcision og dermed mulighed for at anvende marksprøjtningen til båndsprøjtning. Rækkedyrking af vinterraps er mulig, men ikke generelt en konkurrencedygtig dyrkningsmetode. I majs, kartofler og roer, som alle dyrkes på række, er der ligesom i frøproduktionen en række muligheder for ved hjælp af præcisionsteknologi at øge anvendelsen af båndsprøjtning (af afgrøden) kombineret med rækkesprøjtning imellem rækker, eller mekanisk bekæmpelse af ukrudt. Det er vurderet at øget anvendelse af præcisionsteknologi kan reducere den samlede anvendelse af plantebeskyttelsesmiddel med 0,7 procent.

Der har været flere veje til at *forbedre marksprøjter*, så der sikres en mere ensartet afsætning af plantebeskyttelsesmidlerne på sprøjtemålet under sprøjtebommen, og samtidig sikrer en mindre afdrift til omgivelserne omkring marken. Det gælder teknik som pulserende dyser, autodyseskifte, luft- og luftassisterede sprøjter og sensorstyrede bomme med 25 cm dyseafstand, der kan køre med meget lav bomhøjde. En bedre fordeling af sprøjtevæsken under bommen betyder, at dosis kan være lavere end den anbefalede dosering for konventionel sprøjteteknik. Det er vurderet, at øget præcision i afsætning af plantebeskyttelsesmidler under bommen kan reducere den samlede anvendelse af plantebeskyttelsesmiddel med 1,8 procent.

## 5. Præcisionsteknologier og værktøjer under udvikling

Der sker i disse år en rivende udvikling med satellitter, droner, kamerateknologi, sensorer, datahåndtering etc. I dette afsnit nævnes en række nye teknologier, som er på vej til at være almindeligt kommercielt tilgængelige eller er under udvikling.

Der opstår som hovedregel en række udfordringer, når udstyret/teknologien skal tages i brug på bedriften. Det kan være tekniske tilretninger, som er nødvendige, eller det kan være udfordringer med at få software til at fungere. Teknologier i dette stadie vil typisk ikke være understøttet med en servicepakke fra leverandøren, og man har endnu ikke trænedede servicemontører, som kan identificere problemerne. De vil blive løst ad hoc, hvilket let kan betyde udsættelse af ibrugtagning eller driftsstop, som forsinker arbejdet på bedriften. Potentialet i de beskrevne teknologier er ikke vurderet kvantitativt, men der gives en beskrivelse af mulighederne for ibrugtagning af teknologien.

### 5.1 Droneteknologi

Droneteknologi er i en kraftig udvikling og det forudsiges at være et marked med massiv økonomisk vækst de kommende år. Med denne forventning følger en stor interesse i at udvikle dronebaserede tjenester i forskellige erhverv. Eksempler på dette er transport af byggematerialer til offshore, udbringning af pakkepost og transport af medicin og blodprøver. Mange af disse teknologier føder ind i landbrugsmæssige interessante perspektiver. For at gøre monitorering af f.eks. ukrudt med droner mere effektivt, kræver det en vis automatisering. Dronen flyver i dag selv efter en prædefineret rute, men loven kræver, at en dronepilot har hænderne på en controller og øjnene på dronen. Med en højere grad af automatisering tages dronepiloten ud af billedet. For at måtte flyve "*beyond visual line of sight*" eller BVLOS kræves en større dokumentation og styringsindsats, samt en ansøgning hos myndighederne. Kombineres BVLOS flyvning med et drone-in-a-box koncept, hvor dronen automatisk flyver ud og monitorer marker og returnerer data, kan store områder monitoreres med en meget lille investering af tid fra landmandens side. Et sådan set up vil gøre anvendelsen af et værktøj som ThistleTool langt mere effektivt, så et stort antal bedrifter kan behandle mod rodukudt mere rettidigt og målrettet.

Et andet interessant fremtidsperspektiv, for dronerne, er sprøjtning fra drone. Det er som udgangspunkt ikke lovligt at udbringe plantebeskyttelsesmidler med droner i Danmark grundet forbud i EU, men der kan dog søges om tilladelse til forsøgsmæssig afprøvning og om dispensation fra forbuddet. Udbringning af plantebeskyttelsesmidler fra drone er en tilgang, der praktiseres andre steder i verden. I Danmark er GUDP-projektet CropDrone sat i værk i 2022. Dette projekt inkluderer bl.a. den danske dronevirksomhed Hectodrone og Aarhus Universitet. Her arbejdes der på en droneplatform, som skal kunne monitorere og udbringe plantebeskyttelsesmidler målrettet.

Det kan ikke forventes at droneteknologi til autonom flyvning og udbringning af plantebeskyttelsesmidler på de nævnte områder bliver modnet til almindelig kommercielt niveau frem til 2026.

## 5.2 Satellitter og præcision

Brugen af data fra satellitter i form af RGB- og multispektrale billeder til præcisionsarbejde i marken, er på flere måder en oplagt mulighed, men har sine begrænsninger. Dataindsamlingen foregår "automatisk", så landmanden ikke skal foretage sig noget ekstra. Samtidig indsamler satellitter store mængder data, over et geografisk stort område, så mange bliver serviceret. Netop de argumenter er grunden til, at satellitter er særligt interessante i forhold til præcisionsjordbrug. Som nævnt i indledningen, er satellitbilleder allerede i brug i forbindelse med graduering og omfordeling af kvælstof, svampemidler og vækstreguleringsmidler. Man kunne også forestille sig at graduere svampemidler, på baggrund af multispektrale satellitbilleder og egnede vegetationsindeks, men denne proces er ikke optimeret til praksis endnu. Ved omfordeling spares som udgangspunkt ikke på tildelingen af plantebeskyttelsesmidler på den enkelte mark, men målet er, at der overordnet set bruges mindre.

En udfordring med satellitter er, at brugerne periodevis ikke har adgang til billeder, fordi der er overskyet. For at løse denne udfordring, er der udviklet programmer, som ud fra kunstig intelligens kan forudsige, hvad satellitten ville have set, hvis den havde været forbi i skyfrit vejr. Det betyder, at man kan få adgang til daglige satellitbilleder, hvilket vil have en meget stor betydning inden for præcisionsjordbrug. De foreløbige resultater af analyser, som SEGES Innovation har foretaget, ser lovende ud, for denne teknologi (SEGES Innovation 2022).

De satellitbilleder, som markstyringsprogrammer bruger, kommer fra Sentinel-2-satellitterne. Billederne er gratis at anvende, og leveres med en opløsning på 10 x 10 meter, og er derfor ikke anvendelige til mere præcise opgaver (f.eks. pletsprøjtning). Der findes imidlertid kommercielle satellitter, som kan opnå en meget bedre opløsning. Privatejede kommercielle satellitter kan tage billeder med en opløsning ned til under en halv meter.

Nedenfor ses til venstre et satellitbillede med en opløsning på 3 meter og til højre et med en opløsning på 0,5 meter. De kommercielle satellitbilleder er stadig forholdsvis dyre og derfor endnu ikke anvendte inden for landbruget.



**FIGUR 4.** Billedet viser samme marker optaget med to forskellige satellitter med en opløsning på henholdsvis 3 meter og 0,5 meter. I dette tilfælde er der fokus på lejesæd, som tydeligt fremgår af billedet til højre.



Det må antages, at prisen på højopløselige satellitbilleder vil falde efterhånden som teknologien bliver konkurrenceudsat, men inden billederne kan anvendes landbrugsmæssigt, vil der skulle gennemføres nogle udviklingsprojekter, som kan vise, hvad de kan bruges til.

### **5.3 Selvkørende redskabsbærere**

De selvkørende robotter forventes at blive udviklet til en række opgaver i landbruget, og de første er allerede på markedet. De selvkørende robotter er omtalt under teknologier under udvikling, idet teknologien endnu ikke er modnet til anvendelse i de store landbrugsafgrøder.

Det danske firma FarmDroid har udviklet en selvkørende lugerobot drevet af solenergi, som i 2021 rundede 200 solgte enheder globalt. FarmDroid foretager både såning og bekæmpelse af ukrudt. En præcis såning betyder, at robotten mekanisk kan bekæmpe ukrudt meget tæt på planterne, før og efter fremspiring, og både i rækken og mellem rækkerne.

FarmDroid kan operere i rækkeafgrøder som roer, løg, spinat og raps. Firmaet angiver, at en robot kan passe 20 ha, dvs. robotten behandler arealet flere gange i løbet af sæsonen. Kørehastigheden er knap 1 km/time og arbejdsbredden op til 3 meter, dvs. at kapaciteten er ca. 0,3 ha pr. time.

FarmDroid er udviklet i sukkerroer, men robotten kører pt. primært i højværdiafgrøder som løg, hvor den reducerer behovet for manuel lugning med 80-90 procent. Der er et potentiale for anvendelse i afgrøder med behov for et stort lugearbejde, hvor der mangler kemiske bekæmpelsesmuligheder.

I konventionelle landbrugsafgrøder som raps, majs og roer, hvor der er effektive kemiske ukrudtsmidler til rådighed, vil FarmDroid ikke konkurrencedygtigt kunne substituere den kemiske bekæmpelse.

AllAgBots Nordic er dansk leverandør af en hollandsk selvkørende redskabsbærer AGXEED. Det er en kraftig maskine med 150 hk, med et brugervenligt værktøj til at sætte robotten op med kørselsmønstre, hastighed, indstillinger af PTO og lift, samt meget andet. Leverandøren afsætter markgrænser, hvortil robotten kan køre. Sikkerheden under kørsel er styret af 3 sensorbaserede sikkerhedssystemer, som vil registrere uforudsete forhindringer.

I første omgang satser leverandøren på at robotten skal udføre opgaver som f.eks. harvning og pløjning, som ikke kræver så høj præcision. Men perspektivet er, at robotten 24/7 kan køre med eksempelvis radrenser eller lugerobot. Det er tidskrævende opgaver, som i dag kræver mange arbejdstimer. Hvis den barriere bliver nedbrudt, vil radrensning i alle afgrøder, inklusive korn, principielt være en mulighed, men vil sandsynligvis først blive konkurrencedygtig i afgrøder som roer og kartofler, hvor radrensning i forvejen anvendes en del.

### **5.4 Sprøjter monteret på selvkørende redskabsbærere**

Robotter til at udføre sprøjtning er helt i sin vorden. Agrolntelli arbejder med test af en præcisionssprøjte fra Danfoil, som er monteret på den autonome platform Robotti (en selvkørende redskabsbærer). En udfordring, som må forventes er, at kapaciteten vil være lille i forhold til konventionelle bomsprøjter med brede sprøjtebomme på op til 36-40 meter. Det kan derfor blive svært at finde tilstrækkeligt mange timer med sprøjtevejr (ingen blæst og regn). Anvendelsen kan i givet fald forventes at være højværdiafgrøder, som udgør mindre arealer. I øjeblikket testes sprøjten fra Danfoil på Robotti til båndsprøjtning, hvilket giver mulighed for andre anvendelser af teknikken. Robotti er primært udviklet til at så og holde afgrøden ren, men kan også udføre lettere jordbearbejdning og altså også sprøjteopgaver i fremtiden.

## 5.5 Termisk ukrudtsbekæmpelse

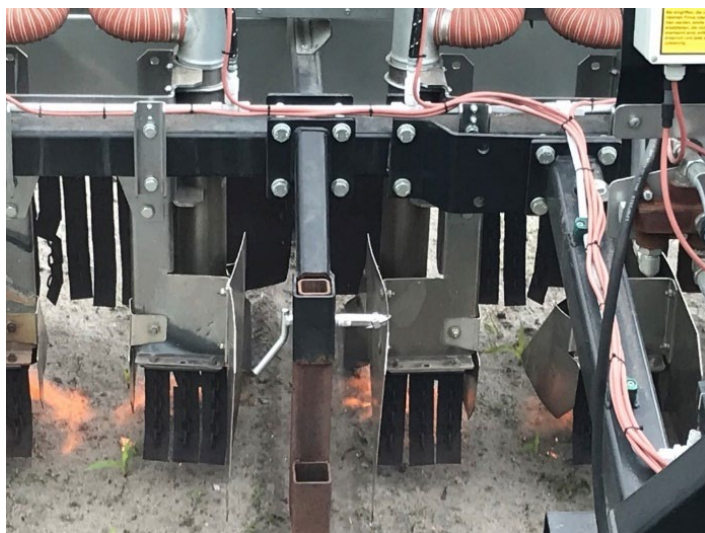
Der findes en række ikke-kemiske metoder til at bekæmpe ukrudt: mekanisk, gasbrænding, damp, elektricitet og laser. Det er oftest ret energikrævende og metoderne har en lav kapacitet i forhold til, at kunne behandle mange ha pr. time. Energiudnyttelsen og effektiviteten kan potentielt øges væsentligt ved brug af præcisionsteknologi. I dette afsnit omtales termisk bekæmpelse og i næste afsnit anvendelse af laser og elektricitet.

Envo-Dan har fremstillet en ukrudtsbrænder med en arbejdsbredde på 12 rækker, som er udstyret med patenterede ETherm brændere, som ved brug af en blæser giver ensartede og stabile flammer, og kan køre selv under vanskelige vindforhold. Ved at anvende blæsere, er forbruget af gas reduceret med omkring 40 %, i forhold til tilsvarende brændere uden luftblæsere. Maskinen blev udviklet til, og i samarbejde med, Varde Maskinstation. Rækkebrænderen er monteret på en traktor og medbringer omkring 1.700 kg gas på en efterfølgende trailer. Derved er der kapacitet til at behandle op til 40 ha med en tankopfyldning.

Der er to brændere pr. række, som er rettet i en skrå vinkel ned mod basis af afgrøden, eksempelvis majs. Forventningen er, at afgrøden derved bliver mindre skadet ved brændingen, og hurtigere kommer igen og kommer i fuld vækst. Afprøvninger har vist, at der er god effekt mod småt ukrudt med 0-2 løvblade, mens større ukrudt efter nedvisning af bladfladerne kommer i vækst igen.

Potentialet for, at teknikken kan reducere forbruget af plantebeskyttelsesmiddel i konventionelle landbrugsafgrøder, er lille. Med en kapacitet på 3-5 ha pr. time og et gasforbrug på +/- 40 kg pr. ha, kan det ikke konkurrere med kemisk bekæmpelse. I økologisk dyrkning af majs er der et potentiale for at forbedre ukrudtsbekæmpelsen og dermed sikre højere udbytter. Prototypen vil kunne forbedres ved anvendelse af GPS til en præcis styring af brænderne. Men udfordringen for denne teknik er, at vinduet, hvor ukrudt har 0-2 løvblade, er ret smalt. Det udfordrer rentabiliteten i en investering, at tidsrummet, hvor maskinen kan anvendes, er så kort.

**BILLEDE 2.** Præcisionsstyring af brænderne vil formentlig kunne øge selektiviteten i forhold til afgrøden, som det her kan ses til venstre, hvor den højre flamme rammer en majsplante.



Frank Poulsen Engineering arbejder også med udvikling af præcisionsbrændingssystemer. Termal Robovator er en brænderenhed, der med en computerstyret flamme er i stand til selektivt at brænde ukrudt inde i rækken. Potentialet ligger her inden for højtærtafgrøder og økologien.

## 5.6 Laserstråler og elektricitet

Laser har energi til at slå ukrudt ihjel, men teknologien er ikke udviklet på grund af et meget højt energiforbrug. Men kombinationen af at bruge laser og præcisionsteknologi giver nye muligheder. Der kører, ifølge den australske ukrudtsforsker Gay Coleman (pers. medd.), en kommerciel 6 meter laser-weeder et sted i USA. To firmaer har kommercielle produkter. Carbon Robotics er en selvkørende robot med 12 højopløsningskameraer, som under kørsel laver billedbehandling, og med en præcision på 3 mm sender laserstråler mod identificerede ukrudtsplanter (Business Wire 2022).

Laserteknologien kombineret med præcisionsteknik, er helt i sin vorden, og imødeses først udviklet i højværdiafgrøder. I EU er der i 2020 iværksat et partnerskabsprojekt med deltagelse af bl.a. Københavns Universitet, til udvikling af en robot til laserbekæmpelse af ukrudt, under titlen WeLaser. Implementering i landbrugsafgrøder må forventes at have lange udsigter.

Højspændingselektricitet er også en energiform, som kan slå ukrudt ihjel. I Danmark har en maskine til nedvisning af kartofler været afprøvet. Resultatet har været en utilstrækkelig nedvisning af den store mængde biomasse, der er i kartofler i vækst. Firmaet Zasso arbejder med at udvikling af højspænding til en række formål, eksempelvis imellem rækkerne i vinmarker og frugtplantager, men ikke i de store landbrugsafgrøder.

## 5.7 Applikationer til smartphones og andre teknologier

Der findes i dag mange landbrugsorienterede smartphone apps, som kan hjælpe landmanden i hans/hendes markdrift. I forhold til præcisionsjordbrug er det især apps, som hjælper ved monitoring og varsling, der er interessante. Anvendelsen bidrager til at give et bedre beslutningsgrundlag for bekæmpelsesbehov og sprøjtetidspunkt, og derved hjælper til rettidig og målrettet behandling med plantebeskyttelsesmidler. Apps i denne kategori er f.eks. BASF's xarvio SCOUTING, som kan identificere ukrudt og tælle insekter i gule fangbakker.

En anden gruppe apps er de, som er koblet op på en sensor, der indsamler data. Det er f.eks. hjælp til at vælge det rigtige sprøjtetidspunkt efter vejrforhold baseret på data indsamlet af en FieldSense vejrstation. På et tidligere udviklingsstadium findes FaunaPhotonics Volito sensor, som kan identificere flyvende insekter ud fra deres vingeslag og derved give data til et fremtidigt beslutningsstøtteværktøj til bestemmelse af bekæmpelsestærskel og rettidig behandling mod skadedyr.

Der er givetvis andre værktøjer under udvikling, som kunne være nævnt, men som vi ikke har kendskab til. Udviklingen af denne type værktøjer sker såvel i store virksomheder som i små startup-virksomheder.

# 6. Udfordringer og barrierer for øget adoption af præcisionsteknologi

Der kan være lang vej fra, at en teknologi har vist sit værd ved afprøvning i et pilotprojekt, til teknikken kan fungere i storskala på marken. Det kan være tekniske udfordringer, rentabilitet og brugernes uddannelse og kompetencer, der giver begrænsninger for udbredelsen af en teknologi.

Når anvendelse af en teknologi har et klart økonomisk incitament, eller på anden måde har oplagte fordele for brugeren, vil der ske en hurtig implementering. Et godt eksempel på dette er GPS autostyring, der med den hastigt voksende størrelse af bedrifterne, både har økonomiske og arbejdsmiljømæssige fordele. Hvis der ikke er disse klare incitamenter, eller teknologien ikke er moden, viser erfaringerne med implementeringen af afgrødesensorer, at det selv med støtteordninger er svært at fremme en teknologi.

På det overordnede niveau er en væsentlig barriere den utilstrækkelige standardisering, som fører til praktiske problemer, når data skal flyttes rundt mellem computere og terminaler på maskiner af forskellige fabrikater. Selv om der findes forskellige standarder, er der lang vej endnu, og med den rivende udvikling der sker, må det forventes, at der vil gå mange år før disse er på plads. Med en parallel til computerverdenen kan man sige, at John Deere er landbrugsmaskinernes Apple. Med det menes, at de store internationale koncerner har hver for sig udviklet systemer, som kan anvendes på tværs af deres produktlinje, men vil ofte ikke direkte kunne anvendes sammen med maskiner af andre fabrikater. Ligesom i computerverdenen, vil produkterne med tiden formentlig blive bedre til 'at snakke sammen'. I denne rapport forholder vi os ikke til, hvordan disse udfordringer kan løses.

I det følgende beskrives nogle af de udfordringer og barrierer, der er identificeret ved implementering af gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler og pletsprøjtning. Det vil være tilsvarende problemer, der kan opstå ved implementering af andre teknologier.

## 6.1 Graduering og pletsprøjtning

Implementeringen af gradueret tildeling af plantebeskyttelsesmidler er et godt eksempel på hvilke udfordringer og barrierer, som opstår. En begrundelse for manglende implementering, der ofte høres hos landmænd, som har gradueringsteknologi til rådighed er, at det er for dyrt at købe abonnement på tildelingsprogrammer og opdateringer til jobcomputere og terminaler. Selv ved små merudbytter og kemibesparelser pr. ha. vurderes det dog at være en nettofordel at anvende præcisionsteknologi til plantebeskyttelsesopgaver, for størstedelen af bedrifterne. Især hvis abonnementet samtidig kan anvendes til flere forskellige plantebeskyttelsesopgaver og gradueret gødsning.

En barriere for at anvende præcisionsteknologier kan også være mangel på uddannelse. Mange landmænd udtrykker, at de ikke har mod på at gå i gang, da de tvivler på egne evner. Der er behov for, at det er tydeligt hvem der kan kontaktes, og hvor der kan søges hjælp.

Nogle tvivler på, at der er fordele ved at bruge præcisionsteknologier. Derfor er der fortsat behov for formidling om præcisionsteknologier og ikke mindst forsøg og afprøvninger på området. Endelig er der også en gruppe, der direkte udtaler, at de ikke har interesse for anvendelse af præcisionsteknologier.

Nogle af pionererne efterlyser, at alle markdata ligger i samme database, så både historiske og aktuelle markdata nemt kan udtrækkes og anvendes i forskellige sammenhænge efter behov. Derfor er det en fordel, at managementprogrammer til præcisionsteknologi, er koblet op på programmer, der anvendes til sprøjteplanlægning og journalisering. Brugerflader med stor brugervenlighed skal have høj prioritet.

I forhold til pletsprøjtning er det i rapporten tidligere beskrevet, at der er behov for at se på mulighederne for at forbedre vejen fra droneoptagelse til effektiv pletsprøjtning. Første trin er at skabe mere kendskab til hele arbejdsgangen for pletsprøjtning: dronefotos (nødvendig kvalitet og bedste tidspunkter for optagelse af fotos), stitching (f.eks. afsløring af forskydninger og hvorfor de opstår), håndtering i terminaler og jobcomputere (udfordringer med standardisering). Desuden er der fortsat behov for at udvikle muligheden for at kunne graduere og pletsprøjte samtidigt. Samtidig graduering og pletsprøjtning kan praktiseres med to dyselinjer og to tanke på sprøjten, og to tildelingskort (et til variabel tildeling og et til pletsprøjtning) i samme terminal. Når disse teknikker bliver indkørt på markedet, vil der formentlig for alvor være stor interesse for pletsprøjtning.

## 6.2 Terminaler og filformater

Når præcisionsjordbrug skal omsættes til praksis, kræver det, at data der beskriver, hvor og hvor meget der skal behandles, kan læses og udføres korrekt af terminalen, der styrer sprøjten. Desværre er udfordringen, at de forskellige terminaler i forbindelse med forskelligt udstyr kræver forskellig opbygning af en tildelingsfil. Det er især for pletsprøjtning, at der ikke er ensretning på området. Her vil marken som udgangspunkt være inddelt i to zoner - områder der skal behandles og områder der ikke skal behandles. I nogle tilfælde skal der være markgrænser og i andre tilfælde ikke. Mellem terminalerne skal det ubehandlede område beskrives på forskellig vis i tildelingsfilen f.eks. "0", "null" eller ingenting. Det kræver af softwaren, der udlæser tildelingsfiler, at den kan imødekomme dette, eller bedre, at der var ensretning på terminalerne. Brugere af tildelingskort møder ofte denne udfordring, og det forhindrer dem i at komme videre. En anden udfordring er, at terminaler der styrer både traktor og sprøjte, ikke har kapacitet til at håndtere datamængden fra præcisionsprøjtarbejde. Derfor appellerer nogle maskinforhandlere til, at der altid investeres i en separat terminal til styring af sprøjten.

Der er initiativer i gang for at komme videre med standardisering inden for filformater. Hovedsageligt EFDI-protokollen fra AEF, som er en protokol, der kan kommunikere ISOBUS til farm management systemer direkte via maskinfabrikanternes telemetrisystemer. ISOXML version 3 og 4 samt shape-format anvendes i vid udstrækning. Selvom ISOXML som udgangspunkt er standard, kan disse filer dog som beskrevet ovenfor, bygges op på forskellig vis, hvilket giver udfordringer på tværs af terminalerne. Udover at gøre arbejdet med tildelingsfiler nemmere, kan tjenester som DKE AgriRouter, til at dele filer trådløst via maskiners telemetrisystemer og markmanagementprogrammerne, forhåbentligt hjælpe til at skabe ensretning på området.

# 7. Handlingsplan for øget adoption af præcisionsteknologi

Hvordan øges landmandens incitament til at anvende præcisionsværktøjer til at nedsætte anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler og hvordan kan andre bidrage til udbredelsen? Implementeringen af præcisionsteknologi har i skrivende stund et betydeligt momentum. Der sker en kædereaktion: Landmændene har nu fået nogle værktøjer til rådighed for at kunne genere tildelingskort – det øger interessen for at investere i avanceret sprøjteteknologi og at få en bedre udnyttelse af den teknologi, man allerede har investeret i – denne efterspørgsel betyder en opgradering af den tekniske support fra leverandøren – så får næste bølge af landmænd øje for mulighederne osv. Og videre sætter ibrugtagningen af den nye teknologi yderligere gang i udviklingen på alle fronter. Diverse 'børnesygdomme' såvel teknisk som softwaremæssigt bliver identificeret og rettet, f.eks. tilpasning af algoritmer, filhåndtering osv.

For at opretholde momentum er det vigtigt at imødekomme det i afsnit 6.1 nævnte behov for forsøg og undersøgelse, der kan dokumentere fordele og ulemper. Disse undersøgelser kræver finansiering af projekter, f.eks. netværksprojekter mellem landmænd, planteavlskonsulenter, Teknologisk Institut, SEGES Innovation, Datalogisk, sprøjteudstøvsfabrikanter og universiteterne. Det forslås at finansieringsmulighederne belyses ved inddragelse af interessenterne.

## 7.1 Kort sigt

Den vigtigste indsats for at øge anvendelse af præcisionsteknologi er efteruddannelse og synliggørelse af gevinsterne, som både kan være, at det giver nogle bekvemmeligheder i arbejdet, forbedrer arbejdsmiljøet eller er økonomiske gevinster. De lavt hængende frugter er at understøtte, at ældre sprøjter opdateres med udstyr, der minimerer dobbeltbehandling. Det kan eksempelvis være en indsamling af oplysninger om udstyr, priser og leverandører.

Potentialet for at målrette og reducere pesticidanvendelsen med anvendelse af præcisionsteknologi bør specifikt introduceres på opfølgingskurser for sprøjtecertifikat, som det er obligatorisk at følge hvert 4. år. Det kan bl.a. understøttes ved, at der udarbejdes faktaark o.l., undervisningsmateriale samt at øge viden om præcisionsteknologi hos undervisere på opfølgingskurser.

For at kunne formidle viden om praktiske fordele og økonomiske gevinster til potentielle nye brugere, foreslås projekter med indsamling af erfaringer og dokumentation fra brugerne, samt en fortsat markafprøvning til dokumentation af udbytter og økonomiske gevinster. Der er ligeledes behov for at udføre farmtests, som belyser præcision af de forskellige produkter og løsninger.

Der er behov for at undersøge mulighederne for at reducere forbruget af svampe- og vækstreguleringsmidler, inden for den enkelte mark, ved anvendelse af graderet tildeling. Dette kan undersøges i forsøg med og uden gradering, ved flere forskellige doseringer. Der iagttages forskelle i biomasseniveau mellem marker, og der er også behov for at gruppere marker efter stigende biomasse, og undersøge hvordan behovsbestemte plantebeskyttelsesniveauer kan kalibreres på markniveau. Endelig er der behov for udvikling af modeller, der kan fastslå i hvilke marker vækstregulering helt kan udelades. Det er vigtigt at understrege, at forsøg der

skal påvise effekter af graduering kræver store ressourcer og flerårige forsøg og store stribe-forsøg på flere lokaliteter. Disse forsøg er langt mere komplicerede og ressourcekrævende end at undersøge f.eks. effekten af sprøjtemidler og dosering i traditionelle parcellforsøg.

En væsentlig forudsætning for, at landmændene kommer til at anvende de nye teknologier, er adgang til service og rådgivning. Investeringen i selve teknologien vil ske, når der er et økonomisk incitament, men der kan i forbindelse med ibrugtagningen opstå så mange komplikationer, at potentialerne ikke udnyttes. Derfor er rådgivnings- og servicedelen så vigtig. SEGES Innovation vurderer, at en målrettet støtte til øget service og rådgivning samt opdatering af rådgiverne til at hjælpe kunderne, med såvel faglige som tekniske aspekter af præcisionsteknologierne, har stor betydning for implementeringen af nye teknologier. Der bør også ses på, hvordan målrettede kurser om anvendelsen af præcisionsudstyret på den enkelte bedrift kan styrkes.

Der er brug for at forbedre den digitale infrastruktur, så der er bedre muligheder for at indsamle data og udnytte dem fleksibelt, når man har brug for det (udbyttekort, jordbund, topografiske kort, NDVI/NDRE, etc.). Det løses ikke let på kort sigt, men det er nødvendigt løbende at have ressourcer til trin for trin at forbedre infrastrukturen.

## 7.2 Langt sigt

På langt sigt kan mange af de nævnte teknologier under udvikling forhåbentlig blive til virkelighed. Det er værdt at være bevidst om, at det danske marked for plantebeskyttelsesteknologier er ganske lille i et europæisk eller globalt perspektiv. Der bør derfor altid søges en international orientering, og det vil være en fordel, hvis initiativerne kan forankres på f.eks. EU-niveau.

I det følgende nævnes nogle perspektiver for den igangværende innovation.

Hvis billedbehandling til identifikation af ukrudt skal kunne ske i samme arbejdsgang som udførelse af sprøjtning, vil anvendelsespotentialet stige dramatisk.

Rækkedyrkningsystemer (bl.a. for korn og raps) kan blive et væsentligt redskab til at løse problematikken, der opstår som følge af færre plantebeskyttelsesmidler, og at der sker en øget udbredelse af resistens hos ukrudt.

Der er startet undersøgelser for at kunne foretage gradueret bekæmpelse af snegle, og der er behov for at bygge videre på dette arbejde for at nå i mål med fagligt baseret graduering.

For bekæmpelse af andre skadedyr som f.eks. bladlus, er der behov for at klarlægge skadedyrenes fordeling i marken, og undersøge mulighed for at anvende autonome registreringsmetoder, f.eks. satellitbaserede data, som grundlag for graduering.

Registreringsmetoder som eksempelvis udviklet af FaunaPhotonics skal følges op med udvikling af modeller baseret på viden, som formentlig først skal genereres. Eller med andre ord: Hvordan kommer vi fra flyveintensitet til bekæmpelsestærskler? Der ligger et kæmpe udviklingsarbejde bare inden for dette afgrænsede område.

## 8. Ordforklaring

<b>Afdrift</b>	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. Afdriften påvirkes af dyse type, tryk, bomhøjde og kørehastighed. Afdrift kan yderligere opdeles i 2 fraktioner, sedimentationsafdrift og luftbåren afdrift
<b>Aksklipper</b>	Et skærebord med knive, som afklipper ukrudt, der er højere end afgrøden.
<b>Autostyring</b>	Automatisk GPS baseret styring af køretøjer efter foruddefinerede spor i marken.
<b>Båndsprøjtning</b>	Præcisionssprøjtning som udføres i afgrøderækken.
<b>Dobbelt overlap</b>	Områder i marken, hvor der behandles to gange. Det sker i kiler, hvor dyserne i en bomsektion eller hele bommen holdes åben for at få behandlet hele arealet. Det sker også, når afstanden mellem køresporene er placeret i en mindre afstand end sprøjtens bredde.
<b>DKE AgriRouter</b>	System til at sende filer trådløst mellem maskiners terminaler og markmanagementprogrammer.
<b>Enkeldyseluk</b>	Åbning og lukning af sprøjtedyserne på bommen styres enkeltvis eller parvis.
<b>ISOBUS</b>	ISOBUS er en datakommunikationsstandard for landbrugsmaskiner. ISO står for International Standardization Organisation, og BUS er et computerudtryk, der dækker over kommunikation af data fra én enhed til en anden, dvs. en standardiseret datakommunikation.
<b>Kørespor</b>	Spor anlagt i marken afpasset efter arbejdsbredde på sprøjtebomme, gødningsspredere og andre maskiner.
<b>Pulserende dyser (PWM)</b>	Pulserende dyser (PWM, Pulse with modulation): Dysen åbner og lukker med en frekvens, som kan varieres. Dyseydelsen ændres ved at ændre frekvens, mens tryk holdes konstant. Derfor bliver dråbestørrelsesfordelingen ikke ændret ved at ændre på den udsprøjtede vandmængde, som det sker med konventionelle dyser, hvor ydelsen afhænger af tryk.
<b>Redskabsbærer</b>	Traktor eller andet køretøj, som kan trække de forskellige maskiner, som anvendes i jordbruget. Har liftarme eller anden form for indretning til montering af redskaber.
<b>RTK</b>	<i>Real time kinematic</i> . GPS med stor nøjagtighed. GPS-signalet refereres hele tiden til et fixpunkt (mast eller via 4G).
<b>Rækkesprøjtning</b>	Præcisionssprøjtning som udføres mellem rækkerne med afgrøden.
<b>Sektionsstyring/sektionsluk</b>	Elektronisk og automatisk til- og frakobling af individuelle bomsektioner på baggrund af styringens GPS-registreringer af tidligere placeringer og doseringer på marken, hvorved unødigt dobbeltbehandling undgås.



## 9. Litteratur

Amazone (2022) AmaSelect Animation.

<https://amazone.net/en/plan-learn/learn/amazone-amaselect-135738>. Tilgået 1. oktober 2022.

BASF (2021) Biggest Job on Earth – Study conducted among Danish and Swedish farmers 2021. Aspecto. *Personlig kommunikation*.

Business Wire (2022) Carbon Robotics Disrupts Farming Industry with Autonomous Weeders. <https://www.businesswire.com/news/home/20210413005415/en/Carbon-Robotics-Disrupts-Farming-Industry-with-Autonomous-Weeders>. Tilgået 19. oktober 2022.

Danmarks Statistik (2022) Stigning i areal med præcisionsjordbrug. Nyt fra Danmarks Statistik 27. september 2022.

LandbrugsAvisen (2022) Sjællandsk gods: Målet er at rense øko-roer på tværs af rækkerne. <https://landbrugsavisen.dk/mark/sjællandsk-gods-målet-er-rense-øko-roer-på-tværs-af-rækkerne>. Tilgået 6. november 2022

Maskinbladet (2016) Skift alle dyser på et sekund.

<https://www.maskinbladet.dk/artikel/52569-skift-alle-dyser-paa-et-sekund>. Tilgået 1. oktober 2022.

Miljøstyrelsen (2018). Sprøjte- og præcisionsteknologi for reduktion af jordbrugets forbrug af plantebeskyttelsesmidler. Miljøprojekt nr. 1981. Februar 2018.

SEGES Innovation (2021). Omkostninger ved udfasning af glyphosat i dansk landbrug. [https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/3/7/8/rapport\\_om-kostninger\\_udfasning\\_glyphosat.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/3/7/8/rapport_om-kostninger_udfasning_glyphosat.pdf). Tilgået 10. november 2022.

SEGES Innovation (2022). Maksimal effekt og minimal afdrift med luftsprøjter. Pjece fra SEGES Innovation 2022.

SEGES Innovation (2022). Sammenligning ClearSky satellitberegninger af NDRE og Sentinel-2. *Intern notat*. Af Nanna Sommer, Rita Hørfarter og Torkild Birkmose

Teknologisk Institut (2021) GPS-aflukning på sprøjter – Gratissignal kontra RTK.

Samt anvendelse af sektionsafluk på dyse niveau. Forfatter: Riccardo Besana på vegne af Miljøstyrelsen.

Teknologisk Institut (2022) Store muligheder med præcisionsteknologien.

<https://www.teknologisk.dk/ydelser/store-muligheder-med-praecisionsteknologien/44132>. Tilgået 28. september 2022.

Aarhus Universitet (2018) Spray drift and deposition uniformity with conventional and Hardi Twin at two wind speeds. Applied Crop Protection 2019 (DCA report).

Aarhus Universitet (2021) Optimizing operational performance of field spraying from a task time and capacity perspective.

<https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/3/6/d/smartagrihubs-artikel.pdf>. Tilgået 1. juli 2022.

# Bilag 1. Reduktionspotentiale

Oversigt over reduktionspotentiale for anvendelse af pesticider ved øget ibrugtagning af modne præcisionsteknologier på kort sigt (2022-2026). I række 1 angiver tallene det dyrkede areal i 1000 ha. Fra og med række 2 angiver tallene en procentdel. Yderligere forklarende noter ses under tabellen.

Teknologi	Note	Vinter-sæd	Vår-sæd	Vin-ter-raps	Majs	Frøpro-duk-tion	Kar-tof-ler	Roer	I alt
<b>Dyrket areal (1.000 ha)</b>	1	658	631	196	176	123	59	36	1879
<b>Autostyring og GPS sektionsluk til at reducere dobbeltbehandling</b>									
Andel af areal, hvor der endnu ikke anvendes GPS-autostyring til at undgå dobbeltbehandling (%)	2	24	24	24	24	24	24	24	
Implementeringspotentiale (%)	3	90	90	90	90	90	90	90	
Reduktion ved øget brug af GPS-autostyring (%)	4	<b>2,7</b>	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	
Procent reduktion ift. samlet areal	4	0,20	0,20	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01	0,6
Andel af areal, hvor der endnu ikke anvendes sektionsstyring til at undgå dobbeltbehandling (%)	5	43	43	43	43	43	43	43	
Implementeringspotentiale (%)	6	90	90	90	90	90	90	90	
Reduktion ved sektionsstyring af åbne/luk (%)	7	<b>1,3</b>	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
Procent reduktion ift. samlet areal		0,18	0,17	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	0,5
Procent reduktion ved at reducere dobbeltbehandling		0,38	0,36	0,11	0,10	0,07	0,03	0,02	<b>1,1</b>

Pletsprøjtning – dronefotos og managementværktøj									
		Vinter-sæd	Vår-sæd	Vin-ter-raps	Majs	Frøpro-duk-tion	Kar-tof-ler	Roer	I alt
Andel af areal, hvor pletsprøjtning kan anvendes (%)	8	100	100	0	100	100	100	100	
Implementeringspotentiale (%)	9	20	20	0	20	20	20	20	
Skøn for andel af sprøjteopgaver i afgrøden som kan ske ved pletsprøjtning	10	10	15	0	5	2	1,5	3	
Reduktionspotentiale ved dronefotos og programmer til udpegning af pletsprøjtning (%)	11	75	75	0	75	75	75	75	
Procent reduktion ved pletsprøjtning (%)		0,5	0,8	0,0	0,1	0,0	0,01	0,01	<b>1,4</b>
Graduering af plantebeskyttelsesmidler									
Andel af areal, hvor bedrifterne potentielt kan anvende graduering (%)	12	94	94	0	0	90	0	0	
Implementeringsgrad (%)	13	30	30	0	0	40	0	0	
Svampesprøjtningernes andel af sprøjteopgaverne		35	30			27			
Vækstreguleringens andel af sprøjteopgaverne	14	13	15	0	0	27	0	0	
Reduktionspotentiale ved graderet tildeling af svampemiddel (%)	15	0	0	0	0	0	0	0	
Reduktionspotentiale ved graderet tildeling af vækstreguleringsmidler (%)	16	10	10	0	0	10	0	0	
Procent reduktion ved graderet tildeling af plantebeskyttelsesmidler (%)		0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	<b>0,3</b>

Præcisionsrækkedyrkning									
		Vinter-sæd	Vår-sæd	Vin-ter-raps	Majs	Frøpro-duk-tion	Kar-tof-ler	Roer	I alt
Areal med po-tentiel præcisi-onsrækkedyr-ning (%)	17	-	-	15	80	25	75	60	
Implemen-tingsgrad (%)	18	-	-	5	10	10	20	20	
Skøn for andel af sprøjteopga-ver, som kan ske ved bånd-sprøjtning/ræk-kesprøjtning	19			60	90	55	15	65	
Reduktionspo-tentiale ved ræk-kedyrkning (%)	20			60	73	50	50	60	
Procent reduktion ved præcisi-onsrækkedyr-ning (%)				0,03	0,49	0,05	0,04	0,09	<b>0,7</b>
<b>Forbedret sprøjteteknik ved fladebehandling</b>									
Andel af areal, hvor bedrifterne potentielt kan forbedre deres sprøjteteknik (%)	21	50	50	50	50	30	30	30	
Implemen-tingsgrad (%)	22	75	75	75	75	75	75	75	
Reduktionspo-tentiale ved for-bedret sprøjte-teknik i afgørø-den(%)	23	5	5	5	5	5	5	2	
Procent reduktion ved forbedret sprøjteteknik (%)		0,7	0,6	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	<b>1,8</b>
Samlet redukti-onspotentiale på kort sigte		<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>5,3</b>

#### Noter:

1) Dyrket areal i 2022, Danmarks Statistik.

2) Ifølge DST bruges GPS til autostyring allerede på 76 procent af dyrket areal, hvilket betyder, at potenti-alet for yderligere udbredelse er 24 procent.

3) I hvilket omfang potentialet for at implementere en teknologi kan indfries er begrænset af flere faktorer. Små bedrifter vil ikke have mulighed for at løfte opgaven, hvor der er tale om relativt store investeringer i forhold til deres omsætning. For alle bedrifter gælder, at udskiftning og nyinvesteringer skal ind i den lang-sigtede investeringsplanlægning, som kan række 5-10 år frem. Har en bedrift eksempelvis investeret i en

nyere sprøjte, skal der være betydelige økonomiske gevinster at hente, for at ændre på investeringsplanen. Vi har baseret vurderingen på areal frem for antal bedrifter. For implementering af autostyring og sektionsluk er der mulighed for opdatering af ældre sprøjter, hvorfor der er et stort potentiale for at disse teknikker kan implementeres på hovedparten af landbrugsarealet.

4) Rapport fra Teknologisk Institut (2022) viser 2,7 procent reduktion ved at gå fra ingen præcisionsteknik til RTK-baseret autostyring. Der er ikke tal for at gå til EGNOS, så antagelsen er, at det er en reduktion på samme niveau. Autostyring eliminerer dobbeltbehandling ved at kørespor har en nøjagtig placering. Se også kommentar i note 7.

Procent reduktion i forhold til samlet areal er beregnet ved at multiplicere andel areal uden GPS-autostyring, implementeringspotentialet og reduktion ved at anvende GPS-autostyring. Dette er for hver afgrødesat i forhold til det samlede areal.

5) Ifølge Danmarks Statistik (2022) anvendes sektionsstyring af sprøjter på 57 procent af dyrket areal, hvilket betyder, at potentiale for yderligere udbredelse er 43 procent.

6) Se note 3.

7) Teknologisk Instituts rapport (2022) viser 4 procents reduktion ved at gå fra ingen præcisionsteknik til RTK-baseret + sektionsluk. Det antages at alle samtidig bruger autostyring med en reduktion på 2,7 procent, hvorfor der kan regnes med at sektionskontrol i sig selv bidrager med 1,3 procent. Der kan yderligere hentes 1 procent ved at gå fra sektionsluk til enkelt dyseluk. Det er ikke medregnet her, idet sektionsluk på kort sigte er den helt dominerende teknologi til at undgå dobbeltsprøjtning i foragre og kiler.

SEGES vurderer, at simuleringen udført af Teknologisk Institut (2022) med bornholmske marker er repræsentativ for de øvrige regioner i Danmark.

I Miljøstyrelsen (2018) vurderes, at reduktionen ved styring af sektions- og dyse åbne/lukke til at være 7 procent baseret på skøn og udenlandske forsøgsresultater. Nørre- og Petersen anslog i rapporten, at GPS med autostyring og/eller sektionskontrol reducerer anvendelsen med 5-10 procent. Simuleringen omtalt i rapporten fra Teknologisk Institut viser, at den nedre grænse for dobbeltsprøjtning er 3,8 procent, idet det mindste overlap ved foragre og kiler for at hele arealet behandles uden mister, er 25 cm. Med den nyeste undersøgelse fra Teknologisk Institut kan elementerne således opdeles i nøjagtig kørsel i kørespor med 2,7 procent, nøjagtig åbne/lukke ved foragre og kiler med 1,3 procent og mindste overlap med 3,8 procent. Nørre- og Petersen regnede ikke med mindste overlap, hvorfor der er god overensstemmelse med den tidligere vurdering og den nyeste undersøgelse.

8) Pletsprøjtning forudsætter at skadevolderen er kortlagt. Pt. er der redskaber til at kortlægge rodudrudt før høst. Bekæmpelsen af rodudrudt kan ske i alle afgrøder, hvor der er godkendte midler mod de relevante arter af rodudrudt. I vinterraps er bekæmpelse af rodudrudt ikke aktuel, idet der ikke er tilstrækkelig vækst i rodudrudtet på de tidspunkter, hvor midlerne er godkendt.

9) Værktøjer til pletsprøjtning er nye, og implementeringspotentialet frem til 2026 er derfor vurderet til 20 procent af arealet for de relevante afgrøder.

10) Værktøjet er udviklet til at finde pletter med tidsler i korn før høst, men kan også finde pletter med kvik. Bekæmpelse af tidsler og kvik er kun en af flere sprøjteopgaver i afgrøderne. Bekæmpelsen kan ske i afgrøder, hvor der er godkendte midler. I roer og kartofler kan det eksempelvis være bekæmpelse af kvik baseret på kortlægning i forudgående kornafgrøde. Men bekæmpelse af kvik er kun en meget lille andel af sprøjteopgaverne i de to afgrøder, idet kvik som udgangspunkt skal være bekæmpet andre steder i sædskiftet. SEGES har i 2021 analyseret anvendelsen af glyphosat på basis af data fra Dansk Markdatabase. Det blev på basis af data vurderet, at knap 60 procent af glyphosat-forbruget anvendes mod rodudrudt, hvilket betyder, at det er mængden der potentielt kan reduceres ved pletsprøjtning.

11) Se afsnit 4.2 i denne rapport.

12) Ifølge Danmarks Statistik (2022) har landmændene nu teknologi, så plantebeskyttelsesmidler kan gradueres på 6 procent af arealet, dvs. graduering kan i teorien implementeres på yderligere 94 procent af arealet med korn, hvor graduering af vækstregulering og svampemiddel er afprøvet. Der er ikke erfaringer og afprøvninger med graduering i vinterraps, majs og roer. I frø er der erfaringer med graduering af vækstregulering, som er aktuel i alle arter, dog ikke de helt korte sorter. SEGES skønner at 90 procent af frøarealet vækstreguleres. I kartofler er der undersøgelser, som viser væsentlige reduktionspotentialer ved nedvisning af kartofler med Reglone (diquat), som nu er forbudt. Ved nedvisning med Mizuki (pyraflufen-ethyl) er der i forvejen problemer med at opnå tilstrækkelig effekt, så der ses pt. ikke et potentiale for at graduere og dermed reducere forbruget. Graduering af svampemidler kunne ligesom i korn være aktuelt, men er ikke afprøvet og indgå derfor ikke i vurderingen.

13) På arealer med meget ensartet jordbund vil graduering ikke være relevant. Der er nu afprøvninger og erfaringer med vækstregulering og svampebekæmpelse i korn samt vækstregulering i frøgræs.

Der mangler fortsat god dokumentation for gevinsten ved graduering. Det vil dæmpe implementeringspotentialet, at der ikke kan beregnes veldokumenterede besparelser eller gevinster ved at anvende teknologien. Vi har baseret vurderingen på areal frem for antal bedrifter.

14) I vintersæd og vårsæd kan svampemidler og vækstreguleringsmidler omfordeles. I frø kan vækstreguleringsmidler omfordeles.

15) I korn er omfordeling af svampemiddel (0 % reduktion) afprøvet, og har ved højt smittetryk vist et merudbytte. Præmissen for disse forsøg har været, at den optimale gennemsnitlige dosis er fastlagt på baggrund af forsøg og monitoring/beslutningsstøtte. Der er ikke i Danmark afprøvet at graduere med udgangspunkt i at reducere den gennemsnitlige dosis.

16) Forsøgsmæssigt har det endnu ikke været muligt at dokumentere entydige sammenhænge mellem afgrødens biomasse og respons på vækstregulering med forskellig dosering. Derfor bygger anbefalinger om gradueret vækstregulering på den antagelse, at den højeste dosis man vil vælge til behandling uden at graduere, vil være den dosis, som man vil bruge i områder af marken, hvor hensigten er at undgå lejesæd. Dernæst antages, at der i områder med en mindre risiko for lejesæd, vil kun være en lille risiko ved at nedsætte dosis. Denne 'model' støttes af en enkel tysk afprøvning, som viste merudbytte for graduering i lave områder og på et plateau i forsøgsmarken, mens der var et udbyttetab ved den højeste dosis på den skrånende del af marken med ringere bonitet (Top Agrar 2/2011). Kampf dem Lager mit variabler Behandlung, Top Agrar 2/2011. Vurderingen af reduktionspotentialet bygger på at man i gennemsnit vil regulere dosis med +/- 20 procent og at variationen er ligeligt fordelt.

17) Ved præcisionsrækkedyrkning stilles krav om ensartet og rimeligt flade arealer uden væsentlig forekomst af større sten. Alle afgrøder kan principielt dyrkes på række, også korn, men arbejdskapaciteten er en begrænsende faktor. Præcisionsrækkedyrkning er pt. ikke konkurrencedygtig i konventionel kornproduktion.

Vinterraps er velegnet til dyrkning som rækkeafgrøde, men det realistiske potentiale på kort sigte er lavt. Uanset at teknikken kunne implementeres, vil der ikke være rådighed over arbejdskraft, som kunne udføre opgaven med præcisionsrækkedyrkning af raps (såning/randrensning/båndsprøjtning). Det skyldes at vinterraps skal sås inden for ca. 3 uger i august, hvor landmænd og maskinstationer samtidig har travlt med høsten. Derfor er der ikke tid til pløjning og rækkesåning. Tværtimod vinder metoder som grubbesåning, som har en meget høj arbejdskapacitet, hastigt frem. Såning af raps er blevet en opgave, som ofte løses af maskinstation.

Majs dyrkes på række, men skrånende arealer og arealer med mange sten udelukker mekaniske metoder.

Præcisionsrækkedyrkning af frøgræs er nyt. Der er meget høje krav til præcision og arealer skal være meget ensartede uden hældning af betydning.

I kartofler forudsættes ukrudtsbekæmpelsen udført med fuld mekanisk bekæmpelse af frøukrudt evt. med glyphosat før fremspiring.

I roer stilles der også ved mekanisk bekæmpelse krav om arealer uden hældning af betydning og uden for mange sten.

18) I vinterraps er det vanskeligt at finde gode færdselsforhold om efteråret og tidligt forår, og derfor må der forventes at være et stort incitament til at fastholde den kemiske ukrudtsbekæmpelse.

I majs radrenser mange i forvejen afgrøden som en del af ukrudtsbekæmpelsen, hvilket reducerer muligheden for yderligere implementering.

I frø, kartofler og roer er der et større potentiale, men konkurrenceforholdet mellem konventionel kemisk bekæmpelse med den høje arbejdskapacitet er til fordel for konventionel bredsprøjtning frem for række dyrkning. Potentialet ligger især, hvor de godkendte midler er utilstrækkelige, eller hvor der er udviklet resistens mod de kemiske midler.

19) Vinterraps: båndsprøjtning og radrensning mod ukrudt, båndsprøjtning ved bekæmpelse af rapsjordlopper om efteråret samt vækstregulering

Majs: båndsprøjtning og radrensning mod ukrudt

Frøgræs: Båndsprøjtning og rækkesprøjtning imellem rækker mod ukrudt, vækstregulering i tidligt vækststadiet

Kartofler: mekanisk bekæmpelse af frøukrudt

Roer: Båndsprøjtning og radrensning mod ukrudt.

20) Båndbredde ved sprøjtning/rækkeafstand: vinterraps 20/50, majs 20/75, frø 15/30, kartofler 35/75

21) Det antages, at halvdelen af arealet i dag sprøjtes med den bedst tilgængelige sprøjteteknologi, f.eks. lav bomhøjde med 25 cm dyseafstand, luftassistance og luftsprøjter. For bedrifter med frø, kartofler og roer antages andelen at være højere.

22) Implementeringsgraden baseret på areal forventes at være høj som følge af at sprøjtearbejdet bliver samlet på færre og færre store bedriftsenheder, som investerer i nyeste sprøjteteknologi for at øge sprøjtekapaciteten.

23) Forsøg til belysning af effekten ved anvendelse af forskellig sprøjteteknik er som udgangspunkt udført under gode sprøjteforhold, hvor gevinsten ved en mere jævn fordeling af sprøjtevæsken ikke kommer til udtryk på samme måde, som under vanskelige sprøjteforhold. Vurderingen bygger derfor på afdriftsforsøg, som viser, at Hardi Twin systemet sikrer en væsentlig mere jævn fordeling af sprøjtevæsken under bommen ved sidevind (Report "Spray drift and deposition uniformity with conventional and Hardi Twin at two wind speeds" 2017-2018. Aarhus Universitet. Uddrag af undersøgelsen ses i pjecen 'Maksimal effekt og minimal afdrift med luftsprøjter, SEGES 2021). Reduktionspotentialet er et skøn. Det forventes af andre luftsprøjter som Danfoil og Dammann giver samme resultater som Hardi Twin.

I roer er godkendte doseringer på et kritisk lavt niveau, så potentialet for reduktion er mindre end øvrige afgrøder.

## Statusrapport for sprøjte - og præcisionsteknologi for reduktion af landbrugets forbrug af plantebeskyttelsesmidler

Sprøjte- og præcisionsteknologi kan fungere som IPM-redskaber og derved bidrage til at reducere anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler. Denne rapport beskriver en status i 2022 for de modne præcisionsteknologier og -værktøjer, deres potentiale for reduktion i anvendelsen af plantebeskyttelsesmidler, udfordringer og barrierer for adoption af præcisionsteknologierne og forslag til handlingsplan for øget adoption af dem.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)