

Notat:

Teknologi til bekæmpelse af ukrudt i frilandsgrønsager



Udarbejdet i projektet ”Ny teknologi til bekæmpelse af ukrudt i frilandsgrønsager”, finansieret af Promilleafgiftsfonden for frugtavlen og gartneribruget.

Forfatter: Asbjørn Mols Nørgaard

Udgivet 2024

Indhold

Forord.....	2
Introduktion.....	3
Oversigt over teknologier til ukrudtsbekæmpelse.....	4
Højpræcisions realtids spotsprøjtning.....	4
Traktormonterede renseredskaber med diverse aggregater og egenskaber	6
Traktormonterede lugerobotter	8
Laserbaseret ukrudtsbekæmpelse.....	11
Robotter specialiseret i ukrudtsbekæmpelse.....	12
Autonome redskabsbærere	14

Forord

Udfordringen med ukrudt har altid været en betydningsfuld faktor i forbindelse med dyrkning af grøntsager.

I økologiske grønsager er manuel lugning af ukrudt i rækkerne ofte yderst arbejdskrævende. Med en god strategi er det muligt at reducere behovet for håndlugning i ukrudtsfølsomme afgrøder som for eksempel løg og porrer betragteligt ved at anvende kendte bekæmpelsesmetoder strategisk. I praksis kan dette dog vise sig vanskeligt at opnå. Selv i tilfælde af succes er det stadig markant at bruge op til 50 timer per hektar på denne opgave, mens det i tilfælde, hvor det ikke lykkes, kan fordoble timeforbruget mange gange.

I konventionel produktion er udviklingen særligt drevet af ønsket om at reducere forbruget af herbicider, samt det faktum, at der er stadigt færre herbicider tilgængeligt.

De teknologiske fremskridt bliver stadig mere avancerede og muliggør løsning af et stigende antal opgaver, herunder i gartnerisektoren. Denne udvikling er i fokus globalt, især i lande, hvor lønniveauet udgør betydelige konkurrenceudfordringer. En amerikansk rapport¹ fra avlerorganisation Western Growers Association viser, at ca. 70% af specialafgrødeproducenter har investeret i automationsteknologi i 2022. Her peges der særligt på øgede omkostninger og problemer med tilgængeligheden af arbejdskraft som de stærkeste drivere i forhold til investering i automatisering. Ifølge rapporten forventer producenterne, at arbejdskraftomkostningerne vil stige mellem 10 og 30% i løbet af de næste tre til fem år.

Rapporten viser også, at mere end halvdelen (54%) af europæiske producenter anser arbejdskraft som deres største udfordring. Automatisering, især inden for ukrudtsbekæmpelse og høst, er blevet et vigtigt investeringsområde for producenterne. Trods stigende brug af udenlandsk arbejdskraft på midlertidige visa, står landbrugssektoren stadig over for udfordringer med at sikre tilstrækkelig arbejdskraft.

¹ <https://www.agharvestreport.com/>

Introduktion

Der findes i dag mange forskellige teknologiske løsninger til bekæmpelse af ukrudt i frilandsgrønsager. Disse teknologier spænder fra de mere simple, mekaniske løsninger med fingerhjul, strigler og harvetænder mv. til mere avancerede teknologier med positionsbestemmelse med GPS og/eller kamera og kameraer med AI-billedgenkendelse.

Mekaniske løsninger uden automatik kan være enkle og mere pålidelige end højteknologiske løsninger med stor automation. Det kan mindske risikoen for nedbrud og fejl. Dog kan disse mekaniske løsninger have begrænsninger i deres evne til at komme tæt på afgrøden og fjerne ukrudtet.

Højteknologiske løsninger kan give flere muligheder for at bekæmpe ukrudtet i forskellige situationer og være nøjagtige i deres evne til at identificere og fjerne ukrudt uden at beskadige afgrøderne. Disse teknologier inkluderer præcis positionsbestemmelse og kameraer med AI-billedgenkendelse, som kan identificere og fjerne ukrudt på en mere målrettet måde. Med flere komponenter og en større kompleksitet er disse teknologier ofte mere udfordrende at håndtere i forhold til reparation, service og drift. Kravene til avancerede systemer og software øger yderligere risikoen for fejl og nedbrud.

Valg af teknologi til bekæmpelse af ukrudt afhænger af forskellige faktorer, såsom afgrøde, ukrudtstyper, markforhold og størrelse på produktionen. Det er vigtigt at tage hensyn til både pålidelighed og nøjagtighed, samt den samlede effektivitet og omkostninger ved en given teknologisk løsning.

En produktions størrelse kan også begrænse mulighederne for ibrugtagning af ny teknologi. Hvis den eksisterende arbejdsstyrke ikke effektivt kan udnytte teknologien, kan det være nødvendigt at ansætte nyt personale eller oplære eksisterende mandskab i nye kompetencer. Her vil det ofte være en større udfordring for små produktioner med en mindre fast arbejdsstyrke, mens større produktioner vil have nemmere ved at tilføje de nødvendige kompetencer.

Oversigt over teknologier til ukrudtsbekæmpelse

Selve bekæmpelsen af ukrudt kan foregå på mange forskellige måder, herunder kemisk, mekanisk eller termisk. I det følgende vil en række eksempler på diverse bekæmpelsesmetoder blive præsenteret.

Grundlaget for mange løsninger er kamera og vision teknologi, hvor enten afgrøden eller ukrudtet identificeres, og ud fra disse informationer bekæmpes ukrudtet. Alternativt kan identifikationen også baseres på, at afgrøden positionsbestemmes enten som enkelt punkt eller række.

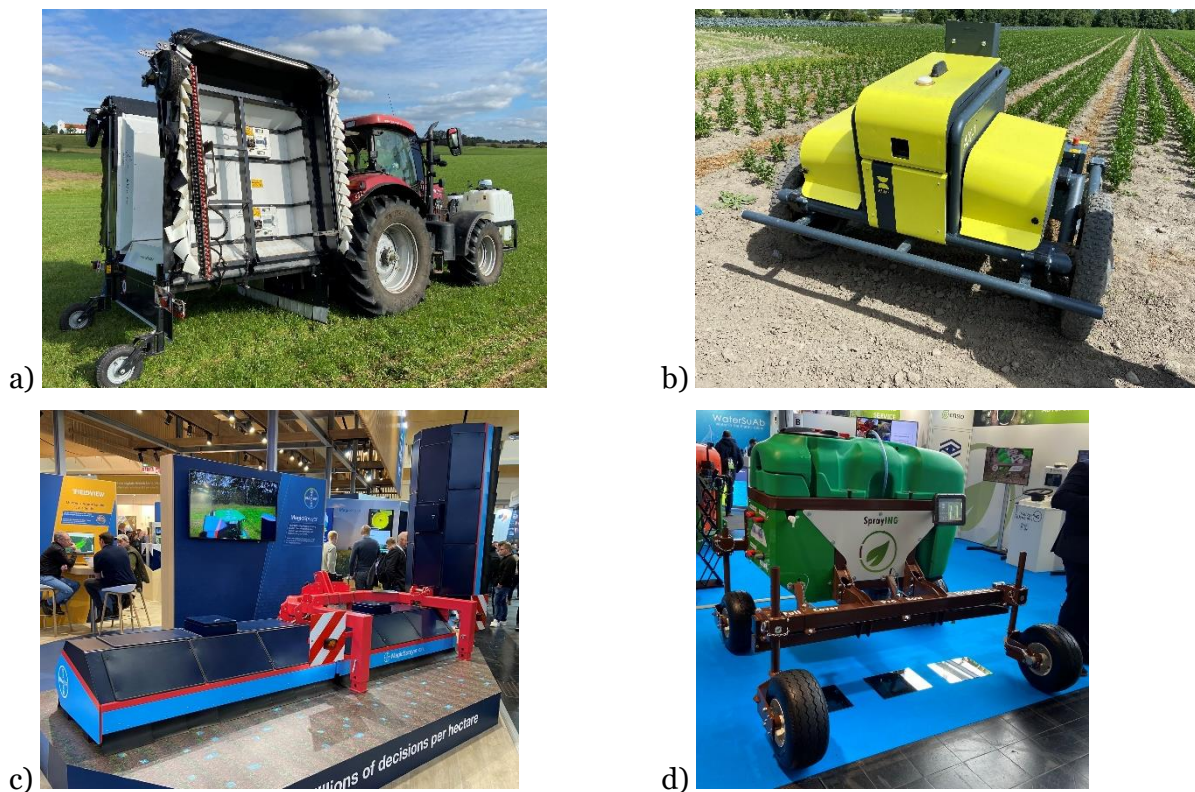
Højpræcisions realtids spotsprøjtning

Præcisionssprøjtning vinder i disse år for alvor frem, gående fra sektionsstyring til enkeltdyse teknik.

Denne teknologi giver mulighed for at reducere dosis per hektar drastisk og potentielt kun at ramme selve ukrudtsplanten. Balance mellem præcision og kapacitet er nødvendig, da høj præcision kræver en lavere kørselshastighed.

Tabel 1: Liste med forskellige eksempler på højpræcisions realtids spotsprøjter

Firma og navn:	Land	Selvkørende	Størrelse spot	Kapacitet
Ecorobotics ARA	Schweiz	Nej	6x6 cm (4 cm dyse afstand)	3-4 ha/t
Verdant Robotics Model B	USA	Nej	Dråbe	2,4 ha/t
Farm-ING SparyING	Østrig	Nej	(2,5 cm dyse afstand)	
Kilter AX1	Norge	Ja	Dråbe	0,5 ha/t
Garford Robocrop Spot Sprayer	England	Nej	(8 cm dyse afstand)	



Figur 1: a) Ecorobotix fra Schweiz, b) Kilter AX1 fra Norge, Bayer's MagicSprayer 6000 fra Tyskland og d) Farm-ING's SprayING fra Østrig

Mange firmaer arbejder med spotsprøjtning, inklusiv de traditionelle sprøjtefabrikanter, som dog i udbredt grad arbejder med en relativ grov spotsprøjtning, hvor det alt efter den enkelte marksprøjtes opsætning vil være sektionsvis eller enkeltdyser (ofte ned til 25 eller 50 cm afstand). Kortbaseret sprøjtning har opnået betydelig udbredelse, mens brugen af realtids kamerabaserede metoder for øjeblikket er mere begrænset.

I øjeblikket begynder spotsprøjtning i grønne marker at komme frem, hvor de tidligste teknologier primært koncentrerede sig om at identificere grønt (ukrudt) i brune områder som for eksempel stubmarker. I 2024 lancerer John Deere i Europa deres See & Spray system, som i første omgang kan sprøjte grønt med brun baggrund. Bosch og BASF er langt fremme med deres One Smart Spray system, som kan eftermonteres diverse marksprøjter. Lignende teknologi markedsføres af de to hollandske firmaer WEED-IT og BBleap.

Bayer fremviste på Agritechnica 2023 en prototype på en spotsprøjte der kan ramme ned til 4x4 cm. Det er deres opfattelse at denne teknologi kan være en vigtig del i at bevare og

begrænse forbruget af herbicider. Ecorobotix, baseret i Schweiz, er førende inden for realtids spotsprøjtning og er kendt for deres avancerede sprøjte, der præcist udfører ukrudtsbekæmpelse. Den kan sprøjte et område ned til en størrelse på 6x6 cm.

Kemisk ukrudtsbekæmpelse giver også muligheder for at anvende en række forskelligt virkende midler. Det kan både være systemisk virkende og kontaktmidler, og de kan være selektive over for ukrudtet eller ikke-selektive som fx glyphosat. Dette giver også både muligheder og udfordringer alt efter, hvilke midler man kører med. Præcision spiller en afgørende rolle ved brug af ikke-selektive midler, især når man anvender systemiske midler som glyphosat, der ellers kan forårsage betydelig skade på afgrøden. På den anden side ville selektive midler eller kontaktmidler som pelargonsyre medføre mindre skade, selv hvis præcisionen ikke er helt optimal.

Traktormonterede renseredskaber med diverse aggregater og egenskaber

Når man kigger mod renserne uden eller med et minimum af automation er der stadig muligheder for at komme relativt tæt på afgrøden og samtidigt rense effektivt mellem rækkerne. Varierende setups, såsom udplantning eller såning samt dyrkning i bede eller på kamme, spiller imidlertid en afgørende rolle i denne sammenhæng.

Tabel 2: Eksempler på specialiserede radrenserne, samt systemer til manuel eller automatisk sideforskydning

Firma og navn:	Land	Renser type
K.U.L.T. Bügelhacke	Tyskland	Bøjlehakke
Struik Weed-Master	Holland	Roterende aggregat
Fobro Hackbürste	Schweiz	Børsterenser
Farrari Remolite	Italien	Radrenser med sideforskydning
K.U.L.T. iVision	Tyskland	Radrenser med sideforskydning
Garford Side Shift System	England	Enhed til automatisk sideforskydning

I udplantet salat og kål kan man komme tæt på afgrøden ved at montere elementer som fx fingerhjul eller andre former for roterende aggregater; det kunne også være såkaldte torsion weeders. Disse fås både som færdige redskaber eller som tilføjelser til en radrenser som derved kan justeres alt efter, hvilken afgrøde og udviklingsstadiet den kører i.

Tabel 3: Eksempler på renseaggregater, udviklet til at komme tættest muligt ind omkring afgrødeplanten.

Firma og navn:	Land	Rensertype
K.U.L.T. Fingerhacke	Tyskland	Fingerrenser
Oliver Rotosark	Italien	Roterende aggregat
Oliver Rotovert	Italien	Roterende aggregat
HAK Torsion Weeders	Holland	Torsion weeder (Torsionharve/skrapepinde)



Figur 2: Olivers Rotovert

I visse udplantede planter, fx løg, er det også muligt at bekæmpe ukrudt vha. strigler der opererer på hele overfladen. Strigler er effektive mod nyfremspiret ukrudt og tænderne bøjer af, når de rammer afgrødeplanterne. Ved anvendelse af strigler er det vigtigt, at afgrøden er veletableret og rødderne er forankret. Effekten er ofte god ved udplantede kulturer, da der her ofte ses en stor forskel på størrelse af afgrøden og ukrudtet.

Tabel 4: Eksempler på strigler

Firma og navn:	Land	Renser type
Treffler Präzisions-Zinkenstriegel	Tyskland	Strigle
Einböck Aerostar	Østrig	Strigle

I rækkesåede kulturer med rækkeafstande ned til få cm, fx gulerødder, kan løsninger med skiver anvendes. Her er princippet, at redskabet indstilles til det specifikke setup, og så roterer skiverne mellem de såede rækker.

Tabel 5: Eksempler på skiverensere

Firma og navn:	Land	Rensertype
Feldklasse Pacorel	Tyskland	Skiverenser
Feldklasse Rukaby	Tyskland	Skiverenser
Oliver Colibri	Italien	Skiverenser



Figur 3: a) Olivers Colibri fra Italien, b) nærbillede af skiverne på Olivers Colibri og c) Feldklasse Rukaby fra Tyskland

Traktormonterede lugerobotter

Når man arbejder med tekniske løsninger til at bekæmpe ukrudt, er bevægelige lugejern ind og ud af rækken efterhånden en teknik, utallige virksomheder arbejder med, og mange producenter enten bruger eller har prøvet. Potentialer ligger i afgrøder der står enkeltvis i rækker eller afgrøder der kan sås i klynger, fx løg. Hidtil har det dog primært været anvendt i udplantede kulturer.

Tabel 6: En række forskellige eksempler på lugerobotter

Firma og navn:	Land
Robovator	Danmark
K.U.L.TiSelect	Tyskland
Ferrari Remoweed	Italien
Garford Robocrop InRow Weeder	England
Oliver Agro – Optyma 2.0	Italien
Ullmann Newmann	Tjekkiet
Feldklasse Zurama	Tyskland
Lemken IC-Weeder AI	Tyskland
Farm-ING InRowING	Østrig
Lauwen RF 2050 Intra Row	Holland
FarmWise Vulcan	USA
Stout The Smart Cultivator	USA

Det er en teknik, der har været på markedet i over 10 år. Og en teknik der har bidt sig fast, men ikke løst afhængigheden af håndlugning helt og ikke skubbet herbiciderne væk. Noget, der rykker sig i disse år, er kunstig intelligens, hvilket gør det muligt for robotten at finde afgrøden, selv hvis der er meget ukrudt omkring. Selvom der er sket meget med teknikken, efterlades der stadig et areal tæt på planten, hvor ukrudtet kan gro.





c)



d)

Figur 4: a) K.U.L.T.iSelect fra Tyskland, b) Ferrari Remoweed fra Italien, c) Oliver Agro Optyma 2.0 fra Italien og d) Lauwen RF 2050 Intra Row fra Holland

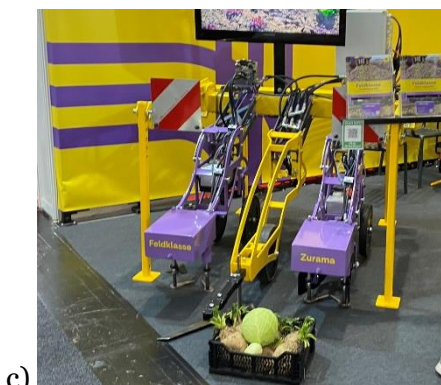
I plantede kulturer, hvor afgrøden hurtigt dækker for ukrudtet og afgrøden relativt kort efter plantning kan genkendes og lugningen igangsættes, er det en effektiv metode. Men det har generelt været vanskeligere med såede kulturer, hvor man umiddelbart er længst fremme i roer. I takt med, at kamera- og computerteknologien udvikles - særligt hjulpet af kunstig intelligens - sker der store fremskridt i disse år.



a)



b)



c)



d)

Figur 5: a) Ullmanna Newmann fra Tjekkiet, b) Garford Robocrop InRow Weeder fra England, c) Feldklasse Zurama fra Tyskland og d) Farm-ING InRowING fra Østrig

Laserbaseret ukrudtsbekæmpelse

En af de nyeste metoder inden for ukrudtsbekæmpelse er laser. Denne teknologi gør det muligt at komme ekstremt tæt på afgrøden og slå ukrudtet ihjel.

Der findes forskellige typer af lasere. I det EU-støttede projekt WeLaser blev der benyttet fiberlaser i deres prototype, mens de kommercielle aktører i Weedbot og Carbon Robotics bruger henholdsvis blå laser og CO₂ laser.



Figur 6: Weedbot Lumina/K.U.L.T.aiLaser fra Letland/Tyskland

Det er forskelligt, hvor meget energi de enkelte typer af lasere bruger. Generelt er fiberlaser og blå laser dog mindre energikrævende end CO₂ laser. I almindelighed er teknologien til ukrudtsbekæmpelse relativt energikrævende. Af denne årsag kan det være hensigtsmæssigt at begrænse energiforbruget ved at bekæmpe ukrudt i et specifikt område, f.eks. omkring planten eller langs rækkerne. Carbon Robotics, som har en arbejdsbredde på 6 meter, nødvendiggør en traktor med en kapacitet på 100 hestekræfter for at drive redskabet. Under en demonstration i 2023 blev traktorens forbrug opgivet til 18 liter diesel i timen.

Der eksisterer en vis tidsbegrænsning for effektiv ukrudtsbekæmpelse. Jo større ukrudtet er, desto mere energi kræves for at bekæmpe ukrudtsplanten, hvilket resulterer i en forlænget tidsperiode for behandling, før den dør. Generelt er bekæmpelsen optimal, indtil ukrudtet har 4 blivende blade; når det bliver større giver det en væsentligt reduceret effekt, indtil det når en størrelse, hvor det ikke længere giver mening at bekæmpe med laser.

Dette kan resultere i behovet for gentagne overkørsler af marken, hvilket kan betyde en øget kapacitet ved at indskrænke det behandlede område. Det kan også være hensigtsmæssigt at inkludere mekanisk ukrudtsbekæmpelse som en supplerende metode for at opnå en mere effektiv løsning.

Tabel 7: Eksempler på laserbaseret ukrudtsbekæmpelse

Firma og navn:	Land	Selvkørende	Laserteknologi
Weedbot Lumina/K.U.L.T aiLaser	Letland/(Tyskland)	Nej	Blå laser
Carbon Robotics – LaserWeeder	USA	Nej	CO2 laser
Pixelfarming Robot One	Holland	Ja	CO2 laser

Robotter specialiseret i ukrudtsbekæmpelse

Der er efterhånden flere bud på selvkørende robotter, specialiseret i at bekæmpe ukrudt. Farmdroid - i øjeblikket den umiddelbart mest vellykkede kommercielt set – har pt over 400 enheder i drift. Roer udgør den dominerende afgrøde, efterfulgt af løg og andre specialafgrøder. Foruden Farmdroid har flere virksomheder mellem 10 og 30 enheder i drift, mens de fleste opererer med mindre end 5 enheder.

Tabel 8: Forskellige eksempler på robotter specialiseret i ukrudtsbekæmpelse

Firma og navn:	Land	Bekæmpelsesmetode
Farmdroid FD20	Danmark	Præcisionssåning med GPS, mekanisk lugning og spotsprøjtning. Mulighed for kamerabaseret mekanisk lugning.
Kilter AX1	Norge	Kamera og sprøjte
Dahlia 4.3	Tyskland	Kamera og mekanisk lugning med traditionelle lugeskær
Farming-GT	Tyskland	Kamera og mekanisk lugning med traditionelle lugeskær
Ekobot WEAI	Sverige	Kamera og arm med lugebøjle
Odd.bot	Holland	Kamera og arm med gribeanordning
Trabotyx	Holland	Kamera og arm med roterende kniv
Pixelfarming Robot One	Holland	Kamera- og laserbaseret ukrudtsbekæmpelse, arm med griber eller roterende kniv
Andela ARW-912	Holland	Kamera og arm med varmebaseret ukrudtsbekæmpelse

Farmdroid udmærker sig også ved at tage udgangspunkt i præcis såning og lagring af positionen for hvert enkelt frø, frøklynge eller frørække. Dette danner grundlag for en effektiv renholdelse, der udelukkende baseres på den præcise position af hvert frø.

Derimod er samtlige øvrige eksempler, nævnt i Tabel 8, baseret på kamerateknologi i forhold til at adskille afgrøde og ukrudt.

Med afsæt i kameragenkendelse af afgrøder og/eller ukrudt er der en række forskellige løsninger. Flere firmaer har fokus på mekanisk fjernelse af ukrudtet, enten ved at have et lugeskær der bevæges ind og ud af rækken, eller en arm der føres ned til ukrudtet og med diverse aggregater fjerner dette. Der er også nogle der bruger enten kemisk bekæmpelse eller laserbaseret bekæmpelse.



a)



b)



c)

Figur 7: a) Farmdroid FD20 fra Danmark, b) Pixelfarming's Robot One fra Holland og c) lugearmen fra Odd.Bot i Holland.

Autonome redskabsbærere

Når det gælder arbejdskraft i ukrudtsbekæmpelsen, er den største udfordring umiddelbart i den økologiske produktion i forbindelse med manuel lugning. Her skal bruges meget mandskab per hektar for at komme over markerne 2-5 gange hen over de måneder, hvor ukrudtet skal bekæmpes. I det forhold skal der bruges relativt lidt mandskab per areal i den konventionelle produktion, hvor bekæmpelsen primært foregår med plansprøjtning. Men potentielt ligger der også en udfordring i at skaffe arbejdskraft til at køre maskinerne. Og, når der bliver introduceret løsninger med en høj præcision, kan kapaciteten ikke forventes at blive den samme som med fx store marksprøjter, og dermed øges timebehovet per hektar.

Autostyring er i dag relativt udbredt for moderne traktorer, hvilket i en vis grad automatiserer traktoren. Dette øger præcisionen og frigiver traktorførerens energi og fokus til at løse andre opgaver i forbindelse med kørslen.

Denne diskussion fokuserer på potentialet ved autonomt drevne redskabsbærere og traktorer. Der er i løbet af de seneste år blevet præsenteret flere koncepter af robotter, der har til formål at erstatte traktorføreren. Dog står man over for forskellige udfordringer, især i en overgangsperiode, hvor nogle opgaver kan udføres af robotten, mens der stadig er behov for en traktorfører til andre opgaver. Dette gælder især i plantager, hvor der er blevet gjort betydelige fremskridt med at implementere autonom teknologi i traditionelle traktorer.

Tabel 9: Eksempler på autonome redskabsbærere, samt systemer til eftermontering på traditionelle traktorer der kan gøre dem autonome

Firma og navn:	Land	
Agrointelli ROBOTTI LR	Danmark	Selvkørende redskabsbærer
Naio Orio	Frankrig	Selvkørende redskabsbærer
AgXeed Agbot 5.115T2	Holland	Selvkørende redskabsbærer
Digital workbench Tipard 1800	Tyskland	Selvkørende redskabsbærer
iQuus Autonomy	Holland	System til eftermontering i traditionelle traktorer
Blue White Robotics	Israel	System til eftermontering i traditionelle traktorer
Sabanto	USA	System til eftermontering i traditionelle traktorer



Figur 8: a) Naio Orio fra Frankrig, b) AgXeed Agbot 5.115T2 fra Holland, c) Agrobot LR fra Danmark og d) traktor med eftermonteret autonomt system fra Blue White Robotics fra USA