



Foto 1. Robovator monteres i traktorens 3-punkts-ophæng og drives af PTO-akslen. Et kamera over hver række styrer lugeskærrernes vandring ind og ud af rækken. For yderligere info henvises til forhandlerens hjemmeside: ([visionweeding.com/robovator-mechanical](http://visionweeding.com/robovator-mechanical)).

# Robotbaseret lugning – hvor tæt kan man komme på afgrødeplanterne?



Projektleder  
Otto Nielsen,  
NBR Nordic Beet  
Research



Lektor  
Bo Melander,  
Aarhus Universitet

Efterspørgslen på lugerobotter til mekanisk renholdelse af sukkerroer er øget markant i de seneste år, efter at man i flere lande er begyndt at dyrke økologiske sukkerroer. Efterspørgslen er gået hånd i hånd med den teknologiske udvikling, så der nu begynder at være produkter på markedet, som ved hjælp af kamera- eller GPS-teknologi kan lokalisere afgrødeplanterne præcist. Det er dog fortsat ikke muligt at renholde sukkerroer helt, og i denne artikel ses nærmere på udbuddet af robotter, og hvor tæt man kan luge på roeplanterne.

## Typer af lugerobotter

Man kan inddеле robotterne efter luge-metode og hvilken teknologi, der anvendes til at bestemme roernes placering (tabel 1). I denne artikel præsenteres resultaterne af en undersøgelse af Robovator fra F. Poulsen Engineering ApS, der baserer sig på kamerateknologi. Robotten monteres i 3-punkts-ophænget på en traktor, og robotten udnytter traktorens PTO til at drive kameraer, computere og lugeaggregaterne. Robovator adskiller sig fra andre lugerobotter ved at have to lugeskær, som renser ind i afgrøderækken fra hver sin side (foto 1).

**Tabel 1.** Eksempler på mekaniske lugerobotter, som har været på markedet i flere år. Laserbaserede lugemetoder er fortsat på udviklingsstadiet og for nyeste opdatering på området henvises bl.a. til det EU-finansierede WeLaser-projekt ([welaser-project.eu/news/](http://welaser-project.eu/news/)).

| Lugerobot <sup>(a)</sup> | Lokalisering af afgrøde | Lugemetode       | Anbefalet arbejdshastighed | Lugeafstand til afgrøde |
|--------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|
| Robovator                | Kamera                  | 2 lugeskær/række | 2-3 km/t                   | 3-5 cm                  |
| Garford Robocrop         | -//-                    | 1 lugekrog/række | -//-                       | -//-                    |
| Steketee IC-Weeder       | -//-                    | -//-             | -//-                       | -//-                    |
| Farmdroid FD20           | GPS-position            | -//-             | <0,95 km/t                 | -//-                    |
| Weedbot Lumina           | Kamera                  | Laser            | <0,6 km/t                  | Fmtl. 1-2 cm            |
| LaserWeeder              | -//-                    | -//-             | <2 km/t                    | -//-                    |

<sup>(a)</sup> Forhandlere i Danmark: Robovator (F. Poulsen Engineering), Robocrop og Farmdroid (Yding Smedje), IC-Weeder (Johannes Mertz). Weedbot Lumina og LaserWeeder fra Carbon Robotics er henholdsvis et lettisk og et amerikansk produkt.

Andre robotter anvender typisk en enkelt halvmåneformet lugekrog, som i en delvis roterende bevægelse bevæger sig ind og omkring afgrøden. Disse robotter har været på markedet i flere år og har været anvendt med succes i udplantede afgrøder, hvor afgrøden har fået et forspring til ukrudt. Lugerobotternes kamera har derved haft relativt let ved at lokalisere afgrødeplanterne, som en stor grøn plet, lugeaggregatet skal køre udenom.

### Ukrudt skal bekæmpes, når det er småt

Uanset bekæmpelsesmetode (kemisk, mekanisk, laser, flamme) er en effektiv bekæmpelse betinget af, at ukrudtet er småt, dvs. når ukrudtet højst har et sæt blivende blade. Det er særligt for sukkerroer en stor udfordring som følge af roernes langsomme vækst i de første 3-5 uger. Den ene del af udfordringen består i at kende forskel på roer og ukrudt i de tidlige udviklingsstadier, og den anden udfordring er, at små roer er sarte overfor tildækning og de forskydninger af jordoverfladen, som lugeaggregatet kan forårsage. En høj succesrate er derfor betinget af et generelt lavt ukrudtstryk (brug falsk såbed og blindstrigling), ensartet og hurtigt fremspiring af afgrøden (såning ved høj jordtemperatur og pla-

tering af frøet i fugtig jord) samt porøs og bearbejdelig jord uden større knolde og sten (tromlet såbed eller såbedsharve med tromlesektioner).

### GPS-lokalisering og/eller kunstig intelligens

Evnen til at skelne mellem afgrøde og ukrudt har Farmdroid løst ved at anvende GPS-teknologi til at lokalisere roefrøene ved udsåning (samme robot sår og luger marken). Der skal dog være plads til en vis fejlmargen i GPS-signalet, da robotten ikke holder øje med, om den fjerner roerne, og hvis der er ikke-spirede roer, luges der alligevel udenom, hvorved der efterlades ukrudtsfyldte 'huller' i marken. Det oplyses fra forskellige brugere, at efterfølgende manuelt lugearbejde kan reduceres til cirka 1/3, når der anvendes Farmdroid-lugerobot, men der er en del variation i bekæmpelsesraten fra mark til mark, og teknologien forbedres løbende. Ideen med at positionere udsåede frø ved hjælp af GPS opstod første gang for omkring 20 år siden og kendes også fra Kvernelands Geoseed-funktion.

Kamera-baserede robotter har på billedanalyse-siden gjort store fremskridt i de seneste år som følge af udviklingen

indenfor kunstig intelligens og maskinlæring (machine learning). Ved denne teknologi trænes robot-computeren i at kunne adskille afgrøde og ukrudt ved at blive præsenteret for tusindvis af fotos. I forbindelse med lugearbejdet indsamles og bearbejdes yderligere fotos, således at robotterne på sigt bliver bedre og bedre til at adskille de forskellige plantearter. Med højopløsningskameraer og gode lysforhold er det muligt at detektere ganske små kimplanter og potentielt artsbestemme disse (*foto 2*). Til yderligere at sandsynliggøre, om der er tale om afgrøde eller ukrudt, kan plantens position inddrages i computerens beslutningsproces, idet afgrøden jo typisk optræder med faste mellemrum i rækken.

### Laserteknologi

Som nævnt ovenfor er det ofte en udfordring at komme helt tæt på afgrødeplanten med lugeaggregatet. Dette forsøges løst med laserteknologi, hvor man forsøger at ramme ukrudtets meristem, når det er ganske småt. Teoretisk set betyder dette, at man med relativt lidt energi kan bekæmpe enkelte ukrudtsplanter, og for eksempel angiver Carbon Robotics en kapacitet på 200.000 ukrudtsplanter i timen ([Carbonrobotics.com/laser-](http://Carbonrobotics.com/laser-)

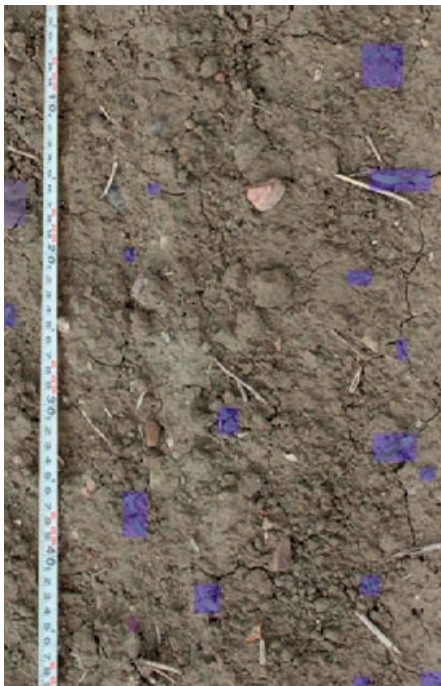


Foto 2. Eksempel på computerbaseret plantegenkendelse. Bemærk, hvor småt ukrudt et godt kamera i kombination med kunstig intelligens kan lokalisere.

weeder). Laser-lugerobotter har meget lille udbredelse, og fremtiden må vise, om dette er et realistisk alternativ til eksisterende metoder. For yderligere info henvises til EU-projektet WeLaser og seneste publikation herfra (kildehenvisning sidst i artiklen).

### Afprøvning af Robovator

I 2021 og 2022 blev der lavet en test af Robovators effekt på ukrudtsbestand og rodudbytte, når der blev kørt tæt på roeplanter (tabel 2). Den største bekæmpelsesmæssige effekt blev opnået i en situation med lavt ukrudtstryk og kørsel på roernes 2-4 blads stadie (83% bekæmpelseseffekt, ukrudtseffekten blev målt i en radius på 5 cm rundt om roeplanterne). Ved hver afprøvning blev to forskellige sikkerhedsafstande til roerne afprøvet; standard og tæt på. Uanset sikkerhedsafstand var der ukrudt tilbage efter lugning, og der var ikke et entydigt billede

**Tabel 2.** Ukrudts- og udbytteeffekter ved automatisk ukrudtslugning i rækken af sukkerroer udført med Robovator. Ved hver lugning blev der luget i to forskellige tætheder til roeplanterne: 1) standard og 2) tæt på. % - effekt angiver, hvor meget udgangsbestanden af ukrudt blev reduceret, og om denne reduktion var signifikant angivet ved P-værdien i parentes. Undersøgelsen er gennemført af Aarhus Universitet, Flakkebjerg og er finansieret af Miljøstyrelsen.

| Dato    | Udviklings-trin, roer | Udviklings-trin ukrudt          | Indstillinger af Robovator         | Ukrudtsbestand efter behandling*                            | % - effekt     | Rodudbytte*, g tørstof m <sup>-2</sup> |
|---------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|---|----------------|--|
| 28/5-21 | 2-4 løvblade          | Kimbladsstadie til 3-4 løvblade | Standard: maks. 55 mm mellem skær  | 0,03 <sup>a</sup> per cirkel ~ 4,2 pl. m <sup>-2</sup>      | 83 (P <0.0001) | 1668,0 <sup>a</sup>                    |
|         |                       |                                 | Tæt på: maks. 44 mm mellem skær    | 0,05 <sup>a</sup> per cirkel ~ 5,8 pl. m <sup>-2</sup>      | 68 (P <0.0001) | 1658,9 <sup>a</sup>                    |
| 3/6-21  | 5-6 løvblade          | >3-4 løvblade                   | Standard: maks. 85 mm mellem skær  | 0,20 <sup>a</sup> per cirkel ~ 25,8 pl. m <sup>-2</sup>     | 34 (P = 0.007) | 1742,0 <sup>a</sup>                    |
|         |                       |                                 | Tæt på: maks. 60-65 mm mellem skær | 0,11 <sup>b</sup> per cirkel ~ 13,9 pl. m <sup>-2</sup>     | 55 (P = 0.001) | 1629,6 <sup>a</sup>                    |
| 9/5-22  | 4 løvblade            | >3-4 løvblade                   | Standard: maks. 60 mm mellem skær  | 1,15 <sup>(a)§</sup> per cirkel ~ 115,2 pl. m <sup>-2</sup> | 79 (P = 0.007) | 1726,8 <sup>a</sup>                    |
|         |                       |                                 | Tæt på: maks. 30 mm mellem skær    | 0,79 <sup>(b)§</sup> per cirkel ~ 79,2 pl. m <sup>-2</sup>  | 83 (P = 0.021) | 1733,3 <sup>a</sup>                    |

af, at tættere lugeafstand giver en bedre bekæmpelseseffekt, så længe sikkerhedsafstanden er mellem 30 og 60 mm (radius på 15-30 mm rundt om roen). Ved denne sikkerafstand blev roerne ikke påvirket af lugningen, medmindre ukrudtet var meget veludviklet og derfor bevirkede, at lugerobotten overså nogen af roerne (resultater ikke vist). Dette bekræfter blot endnu engang, at ukrudtet skal bekæmpes, når det er småt.

### Opsummering

- Acceptabel renholdelse ved hjælp af lugerobotter kræver et lavt til moderat ukrudtstryk og vitale og ensartede afgrødeplanter
- Ukrudtet skal bekæmpes, når det har < 4 blivende blade
- Med nyeste robot-teknologi er det muligt mekanisk at renholde i en afstand på omkring 3 cm (tættere lugning kan medføre afgrødeskader)

- De mekaniske metoder formodes i fremtiden at blive suppleret med berøringsfri metoder (f.eks. laser) til at bekæmpe ukrudtet i den allerførste del af vækstsæsonen

Yderligere info om laserbaseret ukrudtsbekæmpelse: Christian Andreasen, Karsten Scholle, Mahin Saberi. Laser Weeding With Small Autonomous Vehicles: Friends or Foes? Front. Agron., 07 March 2022 Sec. Weed Management ■