

Het Testen van een prototype schoffelmachine met plantendetectie op basis van AI



Bachelor in de agro- en biotechnologie
Afstudeerrichting **Landbouwmechanisatie**
Campus Roeselare
Student: **Lowie Devolder**
Academiejaar 2025 – 2026.
Begeleidende docent(en): **Geert Chys**
Bachelorproef mentor: **Maarten Vanhoucke**
Adres stageplaats:
Briekhoekstraat 13, 8890 Moorslede

Woord vooraf

Thuis op de boomkwekerij proberen we al enkele jaren in het eerste groeijaar van onze teelt te besparen op herbiciden en meer in te zetten op mechanische en handmatige onkruidbestrijding, om groeibeperking van onze planten en schade aan het bodemleven te beperken.

De kanttekening hiervan is dat er veel handarbeid is aan het wieden van de planten, ondanks dit wel een rustgevend werk is, is het duur om al deze uren te betalen en lijkt het me interessanter om dit machinaal te doen. Daarom heb ik gekozen om als bachelor proef samen met Vanhoucke Machine Engineering en ILVO hun prototype te testen die preciezer en efficiënter kan schoffelen dan onze huidige machine.

Ik wil graag Reinout Godaert, Simon Cool en Axel Willekens van ILVO bedanken voor de hulp bij mijn project. Ook Miet, Steven en Maarten Vanhoucke wil ik bedanken voor de stage die ik bij hen mocht lopen en de kansen die ik kreeg om aan de Bachelorproef te werken bij hen op het bedrijf. Daarnaast wil ik ook mijn begeleider Geert Chys bedanken voor de hulp bij het project. Ook mijn ouders wil ik graag bedanken voor de hulp aan het project en de kans die ik krijg om verder te studeren.

Lowie Devolder
mei 2026

BACHELORPROEF

Titel

Het testen van een prototype schoffelmachine met plantendetectie op basis van AI.

Abstract

Mechanische onkruidbestrijding wordt de laatste jaren steeds populairder in tal van teelten, één van de oorzaken daarvan is dat steeds minder herbiciden worden toegelaten. Een beperkende factor bij het schoffelen is vaak het onkruid dat in de plantenrij staat, daar moeilijker te bestrijden of te verwijderen is zonder het gewas te beschadigen. Om dit probleem aan te pakken worden er tegenwoordig enkele technieken op de markt gebracht die in- en uit de rij bewegen, rond het gewas, om het onkruid te bestrijden maar het gewas intact houden. Om dit te realiseren moeten deze twee dan wel correct van elkaar onderscheiden worden. Als bachelorproef zal ik het prototype van de in-rij schoffelmachine van ILVO en Vanhoucke Machine Engineering testen in sierteeltplanten in volle grond. Hiervoor wordt eerst een AI-model getraind op basis van duizenden afbeeldingen. Daaropvolgend wordt de machine getest. De test zal enkel volledig worden uitgevoerd als de plantenherkenning van AI 100% nauwkeurig werkt en er geen kans is op schade aan het gewas.

Trefwoorden

- Mechanische onkruidbestrijding
- Schoffelonderdelen
- Boomkwekerij
- Artificiële intelligentie
- Machine ontwikkeling
-

Inhoudsopgave

BACHELORPROEF	3
Titel	3
Het testen van een prototype schoffelmachine met plantendetectie op basis van AI.	3
Abstract	3
Trefwoorden	3
Inhoudsopgave	4
1 Probleemstelling en doelstelling	6
1.1 Waarom vormt onkruid tussen de rijen nog steeds een probleem na het schoffelen?	6
1.2 De probleemstelling van de huidige machine	8
1.3 Doelstelling van de bachelorproef	9
2 Literatuurstudie	10
2.1 In-rij machines op de markt	10
2.1.1 Van Tuijl Innovations Weeddelete	10
2.1.2 Einböck In-Row schoffel	11
2.1.3 K.U.L.T. – Kress K.U.L.T.iSelect	12
2.1.4 Samo Variochop AI IN ROW	13
2.1.5 Lemken IC Weeder	14
2.1.6 De Garford Robocrop inrow serie	16
2.1.7 Drimac ZIP	17
2.1.8 Ferrari twistweed	18
2.1.9 PhotoHeyler Rotorhacke	19
2.1.10 Globus RFX02	20
2.1.11 Vanhoucke Engineering prototype	21
2.2 Schoffelonderdelen	23
2.2.1 Schoffelmes	23
2.2.2 Vingerwieders	25
2.2.3 Wiedeggen	27
2.2.4 Torsiewieders	28
2.2.5 Cultivatorbeitels	29
2.2.6 Verkruimelrollen	30
2.3 Andere manieren van chemievrije onkruidbestrijding	31
2.3.1 Wiedrobots	31
2.3.2 Laserwieder	34
2.3.3 Elektrofysische onkruidbestrijding	36
2.3.4 Thermische onkruidbestrijding	40
2.4 Boomkwekerijgewassen waarin zal geschoffeld worden	41
2.4.1 Phillyrea angustifolia	42
2.4.2 Prunus lusitanica 'Angustifolia'	43
2.4.3 Ilex Blue Maid/ Blue Prince	44
2.4.4 Osmanthus x burkwoodii/ heterophylus	45
2.4.5 Taxus baccata	46
2.4.6 Foto van het proefveld	47
3 Materiaal en methode	48
3.1.1 Brainstormen met Vanhoucke Machine Engineering	48
3.1.2 Eerste contact met ILVO, samen met Vanhoucke	49
3.1.3 Datacaptatie uitvoeren	51
3.1.4 AI-model trainen op basis van gecapteerde data	54
3.1.5 Klein proefveld aanleggen bij ILVO + eerste testen uitvoeren	58
3.1.6 Uiteindelijke proef op het grote veld te Kanegem	65
4 Resultaten	67
5 Discussie en algemeen besluit	69
5.1 Discussie resultaten en werkpunten	69

5.2	Besluit bachelorproef	70
6	Publiceerbaar artikel	I
7	Bijlagen	III
	Lijst met figuren	IV
	Lijst met tabellen	VII
	Lijst met grafieken	VIII
	Bronvermelding	IX
8	Bibliografie	IX

1 Probleemstelling en doelstelling

1.1 Waarom vormt onkruid tussen de rijen nog steeds een probleem na het schoffelen?

Het toepassen van mechanische onkruidbestrijding gebeurt best in kleine groeistadia van zowel het gewas als het onkruid. In grote gewassen is het risico op schade aan de gewassen te groot, deze kan zowel door de tractor als de schoffelmachine worden veroorzaakt. Als het gewas vrij van onkruid kan blijven tot het dichtgroeit zal er gedurende de rest van de teelt ook geen grote onkruiddruk meer van toepassing zijn. Als er geen zonlicht meer tot bij de onkruiden kan, zullen deze ook niet meer groeien.

Als het gewas te groot is, is het niet meer toegankelijk voor grote machines, wat mechanische onkruidbestrijding natuurlijk onmogelijk maakt. In boomkwekerijen is dit vaak de reden dat er wordt overgeschakeld van mechanische naar chemische onkruidbestrijding. Planten die te hoog of te breed zijn haperen namelijk aan het chassis en/of de wielen van de tractor.

Als het onkruid al te ver is ontwikkeld, is het in veel gevallen moeilijk om het nog kapot te maken met een schoffelmachine. Als dit al zou lukken wordt meestal alleen het bovengrondse deel van de plant beschadigd, en zal het vanuit de wortel terug opschieten.

Op Figuur 1 kan je zien dat na het schoffelen met een conventionele machine er nog veel onkruid in de rij blijven staan. Klassieke systemen zoals vingerwieders en torsiewieders volstaan niet om een volledige onkruidverwijdering te realiseren.



Figuur 1: onkruid dat in de rij blijft staan na het schoffelen in Taxus (Devolder)

Het veld bij Figuur 1 was de dag voor het nemen van deze foto nog maar pas geschoffeld. Je kan zien dat de grond mooi luchtig bewerkt is en dat het merendeel van het onkruid verwijderd is. Ondanks dat zijn de relatief grote onkruiden die zich in de rij bevinden blijven staan. Dit komt omdat ze zowel deze keer als tijdens de vorige schoffelbeurt niet verwijderd werden.

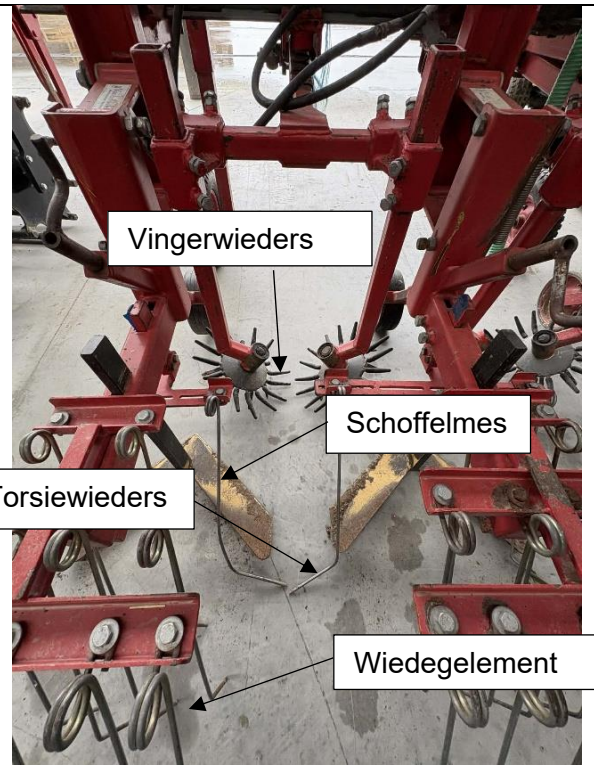
Aangezien boomkwekerijteelten meerdere jaren op het veld blijven staan is het zeer belangrijk om te vermijden dat deze onkruiden tot zaadvorming komen. Op termijn zouden deze hierdoor nog meer problemen vormen aangezien het gewas bij het opkomen van deze zaden nog groter is waardoor mechanische onkruidbestrijding onmogelijk wordt. Men is dus genoodzaakt om deze handmatig te gaan verwijderen, wat zeer arbeidsintensief is en dus een grote financiële kost vormt voor de kwekers. Als men dit niet zou doen is er het jaar erop nog meer werk en zal men genoodzaakt zijn om meer herbiciden in te zetten

1.2 De probleemstelling van de huidige machine

Op Figuur 2 en Figuur 3 zie je de huidige schoffelmachine waarmee men de boomkwekerij altijd schoffelt. Deze is door van Vanhoucke machine engineering gemaakt en ontworpen maar is ondertussen al 20 jaar oud. De schoffelonderdelen die gebruikt worden zijn vaste schoffelmessen (zonder verende houder), wiedegelementen, torsiewieders en vingerwieders (zie Figuur 3). Daarnaast is er nog een andere opstelling waarbij het schoffelmess kan worden vervangen door lichte triltandjes. Dit wordt voornamelijk gebruikt om een harde korst op de bovenste grond ondiep open te trekken na een lange, droge periode, na de winter of na het irrigeren.



Figuur 2: Foto van de huidige schoffelmachine



Figuur 3: Foto van de huidige tools op onze machine

Met de huidige tools op onze machine lukt het vrij goed om vrijwel alle onkruiden tussen de rijen planten te verwijderen. De functie van alle elementen zal verder in de literatuurstudie nog aan bod komen. Echter is de werking in extreem droge omstandigheden wel meer beperkt.

Er is op deze machine ook een meststoffenbak opgebouwd om aan rijenbemesting te kunnen doen, daar zijn we in de laatste jaren mee verminderd. Dit komt mede omdat we voornamelijk zijn overgeschakeld naar organische kunstmest en daarvan is een groot volume nodig om aan voldoende eenheden stikstof te komen. Daarbij is het ook zeer arbeidsintensief om de machine te vullen met zakken van 25 kg en op het veld rijtje per rijtje open te strooien. Nu gebeurt dit met een conventionele kunstmeststrooier.

1.3 Doelstelling van de bachelorproef

Met mijn bachelorproef zou ik graag een machine helpen ontwikkelen of testen waarmee het ook mogelijk is om de onkruiden die in de rij staan te verwijderen, zonder de planten te beschadigen. Hierbij zal moeten gewerkt worden met een contactloos plantendetectiesysteem. Dit leert men uit de ervaring van machines met mechanische voelers. In het verleden hebben we nog een machine gehad die hiermee uitgerust was, de voeler stuurde een schoffelmes aan die in- en uit de rij kon bewegen. Die machine was niet optimaal voor onze teelten. De planten waren nog te klein en niet voldoende vast geworteld, hierdoor boden ze niet voldoende weerstand voor de taster om het mes uit de rij te dwingen, als gevolg hiervan werden ook de planten mee geschoffeld.

De testen die zullen worden uitgevoerd zullen met statistiek worden verwerkt om tot het beste resultaat te komen.

In andere teelten bestaan er al verschillende manieren om in de rij te gaan schoffelen, zowel met mechanische als elektronische voelers en ook met camerasturing. Het lijkt erop dat er in de nabije toekomst nog tal van producenten machines hiervoor op de markt zullen brengen. Deze machines zijn voornamelijk om gewassen zoals kolen, salade en tal van andere groenten in jonge groeistadia te schoffelen

In de literatuurstudie zal ik enkele van deze machines omschrijven en toelichten in welke teelten deze van toepassing zijn. Daarnaast zal ik de functie van tal van schoffeldelen en andere manier van alternatieve onkruidbestrijding uitleggen en toelichten waarom deze best wel of niet worden gebruikt. Ook de teelten waarin zal worden getest worden toegelicht.

2 Literatuurstudie

2.1 In-rij machines op de markt

2.1.1 Van Tuijl Innovations Weeddelete

Op Figuur 4 en Figuur 5 zie je de 'Weeddelete ZRS' van Van Tuijl Innovations, dit is een gepatenteerd systeem met een mechanisch geleidingssysteem. Dit glijdt langs de planten en vervolgens komt een freesrotor achter, die de grond ondiep bewerkt en vrijmaakt van onkruid.

Dit is hun beschrijving van de machine:

“Het verwijderen van onkruid op ecologisch verantwoorde wijze komt dankzij de WEEDELETE® ZRS binnen handbereik. De schoffelmachine is voorzien van doordachte technische toepassingen (gepatenteerd) die ervoor zorgen dat de WEEDELETE® ZRS uniek is in zijn soort. (Van Tuijl Innovations, sd)

Om het onkruid te wieden, roteren de schoffels door de bovenste grondlaag in de onbeteelde stroken rond de planten. Dit op ingenieuze wijze zodat het wieden geen schade aan de gewassen veroorzaakt. (Van Tuijl Innovations, sd)

De WEEDELETE® ZRS is naar keuze te koppelen aan de voorzijde of achterzijde van de tractor. De machine functioneert optimaal bij laag motorvermogen. De schoffelmachine is grondvolgend en heeft een goede werksnelheid. Voor optimaal resultaat zijn de diepteregeling en werkbreedte traploos instelbaar”. (Van Tuijl Innovations, sd)

Maaikop

Voor volledige jaarrond inzetbaarheid is de WEEDELETE® LM uit te breiden met een optionele maaikop. Dankzij het snelwisselsysteem wisselt u moeiteloos binnen enkele minuten tussen maaien en schoffelen.” (Van Tuijl Innovations, sd)



Figuur 4: Weeddelete ZRS aan het werk
(Van Tuijl Innovations, sd)



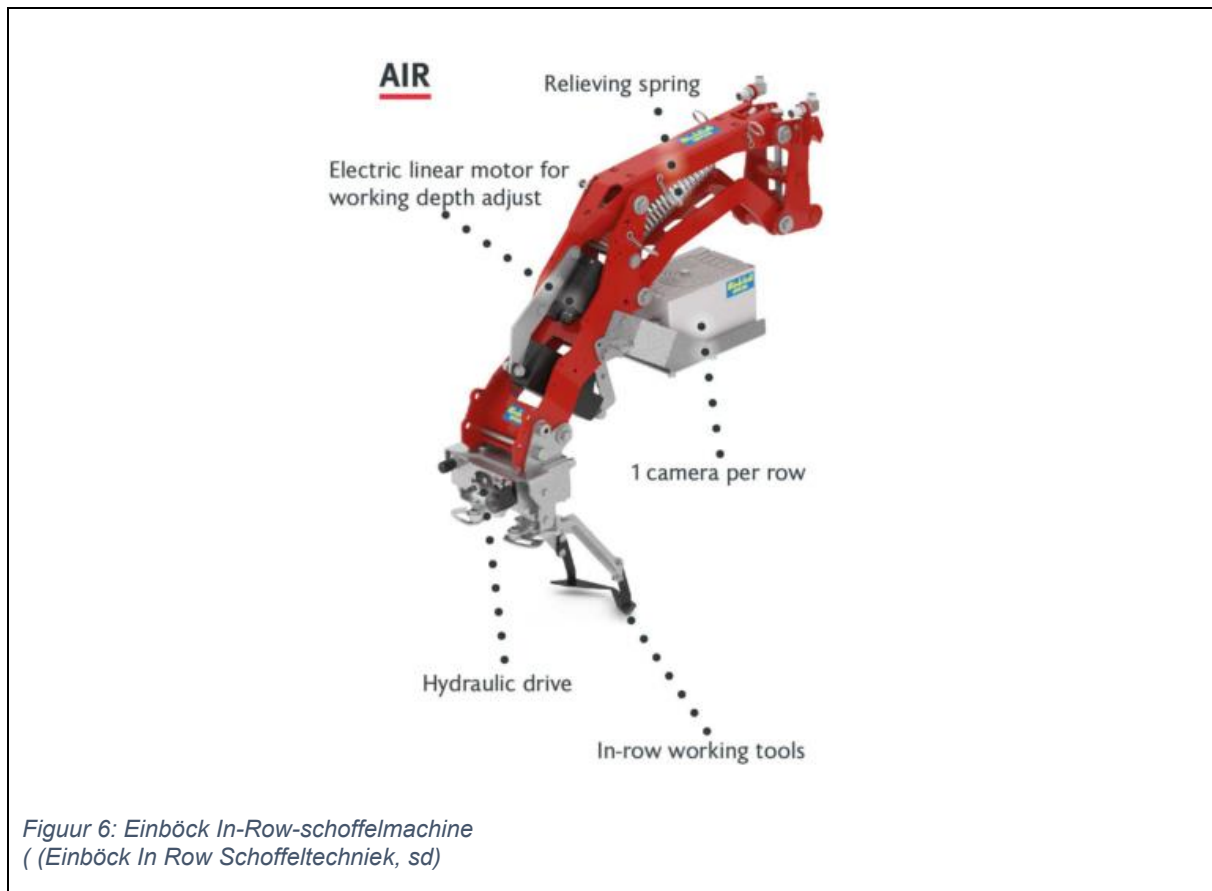
Figuur 5: Foto van Weeddelete ZRS
(Van Tuijl Innovations, sd)

In het algemeen wordt deze machine voornamelijk gebruikt in boomkwekerijen met grote bomen en/of struiken. Bij ons is er niet zo veel plaats tussen de rijen zoals in de foto hierboven dus is het niet mogelijk om deze machine in onze kwekerij te gebruiken. Ondertussen is er wel al een andere versie van de machine ontwikkeld die dit wel zou kunnen, maar deze is nog niet in gebruik gesteld dus zijn er ook geen beelden van te verkrijgen.

2.1.2 Einböck In-Row schoffel

De Einböck In-Row schoffelmachine (Figuur 6) is een recent uitgebrachte machine die met een camerasturing in de rij kan schoffelen. Per rij hangt één camera die de planten op beeld zet. Met behulp van artificiële intelligentie herkent de machine waar de planten staan aan de hand van hun kleur. Het mechanisme blijft gesloten waar geen planten staan, en gaat open om, zonder schade, langs de planten te passeren

Door de bouw van de machine is deze meer geschikt voor groenten, zoals sla, selder en kolen. Zowel de detectie camera's als de aandrijving van de schoffelmessen hangen boven de rij en hieraan kan niets gewijzigd worden, ook is de bodemvrijheid van het mechanisme zeer beperkt. Al deze factoren zorgen ervoor dat deze machine in een boomkwekerij onbruikbaar is.



2.1.3 K.U.L.T. – Kress K.U.L.T.iSelect

De K.U.L.T.iSelect (Figuur 7 en Figuur 8) valt zeer goed te vergelijken met de machine van Einböck (zie 2.1.2). Er wordt ook via camera's per rij met individuele plantendetectie gewerkt. Deze wordt ook gebruikt om de machine automatisch zijdelings te kunnen sturen, daarvoor hangt de schoffelbalk met een parallel aan het chassis van de machine bevestigd. (K.U.L.T, sd)

Een verschil met de machine van Einböck is dat de hoogte van het loopwiel achter de trekker hydraulisch wordt ingesteld. Het kan scharnieren door een parallellogramsysteem met een hydraulische cilinder ertussen. Daarnaast zijn de elementen met een parallellogram aan de balk gemonteerd en maken ze gebruik van een loopwiel, in tegenstelling tot Einböck die hiervoor een actuator en hoogtesensoren gebruikt. Beide oplossingen hebben hun eigen voor- en nadelen.

De machine vraagt een laag vermogen en heeft elektrische en hydraulische voeding nodig van de trekker.

Ook deze machine is vooral aangewezen in de groenteteelt. Het modulair ontwerp maakt het mogelijk om aan de eisen van elke teler te voldoen. Zo kan de rijenafstand en het aantal rijen steeds worden aangepast. Het is zelfs mogelijk om een opklapbare versie te maken waarmee 3 bedden in 1 keer worden bewerkt.

Een opmerkelijk verschil is dat het snijsysteem om in de rij te werken van K.U.L.T naar achter is gericht en van Einböck naar voor. Door zoals K.U.L.T naar achter te richten komt het werkpunt van de machine verder weg van de trekker, waar weinig voordelen aan zijn. Als de trekker schuin stuurt is dit verschil achteraan de machine veel groter dan vooraan.



Figuur 7: De K.U.L.T Kress iSelect aan het werk in saladeK.U.L.T, sd)



Figuur 8: K.U.L.T Kress i Select in opklapbare uitvoering voor 3 bedden. (Agriexpo, sd)

2.1.4 Samo Variochop AI IN ROW

Net als machines in hoofdstuk 2.1.2 en 2.1.3 werkt ook deze Samo Variochop AI IN ROW (Figuur 9) met een plantenherkenning via camerabeelden, ondersteund door artificiële intelligentie. Op deze machine is die zelfs extra geavanceerd waardoor het groeipunt van de plant wordt opgespoord, in plaats van de bladeren. Daardoor is de machine een stuk accurater en kan er ook in zeer winderige omstandigheden met precisie worden gewerkt. Daarnaast is er ook een 3D camera die de hoogte van het gewast opmeet. (Samo, sd)

Om in de rij te werken wordt ook met eenzelfde systeem gewerkt als de 2 voorgaande machines. Hier is er weer een 'getrokken' versie die met perslucht wordt aangedreven.

Deze machine werkt al in alle toereikbare (niet te hoog) groeistadia van meer dan 100 verschillende gewassen. Deze variëren van alle groentesoorten tot ook aardappelen, zonnebloem, maïs, hennep en oregano. Alles dat je kan bedenken kan deze machine voor worden getraind. Om een nieuw gewas compatibel te maken duurt het ongeveer 6 uur, maar de meeste gewassen zijn al geïnstalleerd. (Samo, sd)

In bieten kan de machine een snelheid tot 5km/u bereiken.

De werkingsdiepte kan worden geregeld door een elektrische actuator die in de parallellogrammen verwerkt zit. Aan de hand van de 3D beelden weet de machine ook de hoogte ten opzichte van de grond. De chauffeur kan dit besturen door een tablet die wordt meegeleverd met de machine. (Samo, sd)

De machine heeft een minimale tussenrijafstand nodig van 15 centimeter en kan maximaal met 16 elementen worden uitgerust.



Figuur 9: Samo Variochop AI met 6 elementen
(Samo, sd)

2.1.5 Lemken IC Weeder

De Lemken IC Weeder (Figuur 12) is een automatische in-rij machine oorspronkelijk ontwikkeld onder de bekende merknaam van schoffelmachines 'Steketee'. Dit bedrijf werd in augustus 2018 overgekocht door Lemken maar bleef onder zijn eigen merknaam doorgaan. In de 5 jaren daarna werden schoffelmachines aanzienlijk populairder in de landbouwsector en ging de verkoop van Steketee machines maal 3. Daardoor heeft Lemken in 2023 dan toch beslist om de machines hun eigen merknaam te geven en in hun bekende blauwe kleur te spuiten. (Van Der Horst, 2023)

Ook deze machine detecteert het gewas met camerabeelden. Per 2 rijen is er een camera met individuele plantenherkenning. Die leggen beelden vast op basis van groene tinten of het RGB-kleurenspectrum. (Lemken, sd) De camera's hebben een allemaal breedtebereik van 75 cm. Het cameragedeelte zit volledig overkapt door de machine, om storingen van zonlicht in de beelden te vermijden. Om toch voldoende licht te hebben zitten er grote ledlampen naast de camera's (Figuur 11), daardoor is het in alle omstandigheden mogelijk om duidelijke beelden van de planten te maken en zo fouten te vermijden.

De machine is geschikt om zowel tussen de rij te werken als automatisch in de rij te gaan op basis van de camerabeelden. Dit gaat met een actieve tool waarop sikkelvormige messen staan gemonteerd (Figuur 10). Deze messen staan zowel links als rechts van de plantenrij om langs beide kanten zo dicht mogelijk volledig rond de plant te kunnen gaan. Er is een precisie van 2 centimeter (Lemken, sd)

De werkingsdiepte wordt bepaald door de loopwielen van de parallellogrammen waarop de actieve tools bevestigd staan. Op deze parallellogramconstructie kan optioneel een pneumatische cilinder worden toegevoegd om het gewicht op de grond te ontlasten. Ook kan de gehele machine hydraulisch worden verhoogd of verlaagd door een cilinder aan het loopwiel van de machine. De schoffelbalk stuurt automatisch tegenover het chassis, op basis van de camerabeelden, en kan zo altijd recht boven de rijen blijven.

Om de sikkelvormige messen uit de rij te bewegen wordt gewerkt met pneumatische cilinders, hiermee kan extreem rap in en uit de rij geschakeld worden, daardoor haalt de machine een snelheid tot maximaal 3 kilometer per uur. Om goed te functioneren is er een minimale rijafstand van 25cm nodig, in de rijen moeten de planten onderling minstens 15cm van elkaar staan. (Lemken, sd)

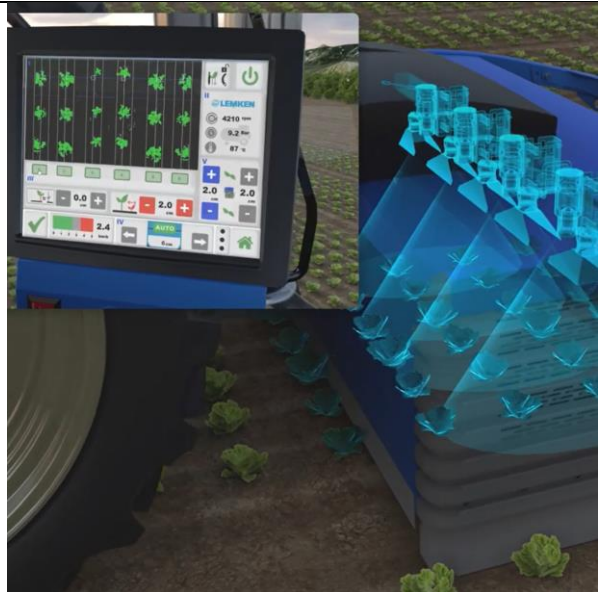
De machine is verkrijgbaar met 2 types elementen, de C1 en C2 uitvoering (Figuur 13). De C1 uitvoering is geschikt voor rijafstanden van 25 tot 40 centimeter. De C2 uitvoering voor alles daarboven. (Lemken, sd)

Om de pneumatische cilinders van voldoende luchtdruk te voorzien staat een compressor op de machine die via de aftakas van de trekker wordt aangedreven (Figuur 12). Daarnaast staat ook een luchtfilter om aan te zuigen, een drukketel en alle nodige stuurventielen. Met de lucht die retourneert uit de cilinders wordt rechtstreeks op het gewas geblazen om dit te reinigen van aarde en stof. (Lemken, sd)

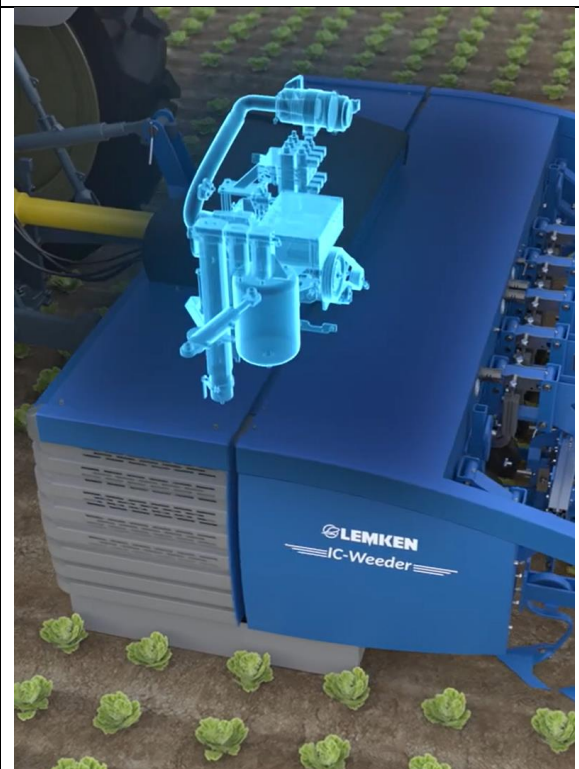
Op de volgende pagina staan enkele foto's ter verduidelijking.



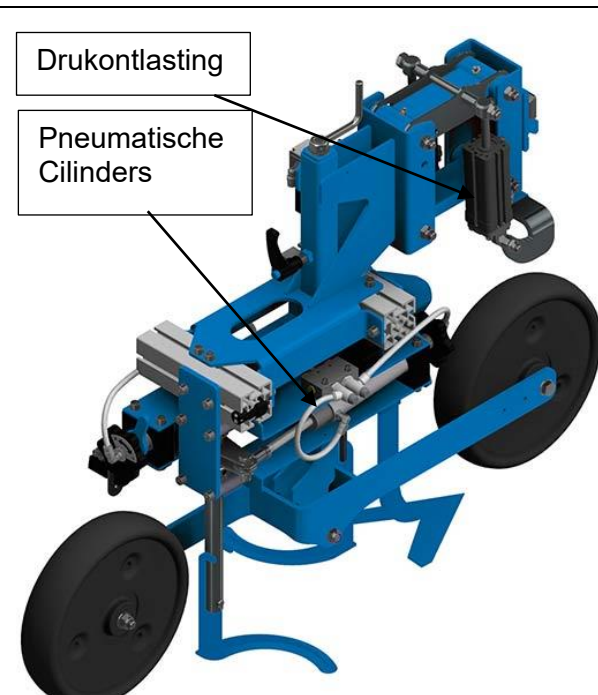
Figuur 10: Ingezoomd beeld van de sikkelvormige messen rond het gewas (Lemken, sd)



Figuur 11: Verduidelijking van de camera's en de bijhorende ledlampen (Lemken, sd)



Figuur 12: De compressor en zijn toebehoren (Lemken, sd)



Figuur 13: Detailbeeld van het schoffelelement, de C1 uitvoering mét drukontlasting (Lemken, sd)

2.1.6 De Garford Robocrop inrow serie

Ook bij de Garford Robocrop inrow (Figuur 15) zien we een nieuw systeem om de grond tussen de planten te bewerken. In tegenstelling tot Einböck, K.U.L.T, Samo en nog tal van andere constructeurs die allemaal een gelijkaardig systeem hanteren.

De Robocrop InRow gebruikt een digitale videocamera om beelden vast te leggen van het gewas, deze beelden worden vervolgens met artificiële intelligentie geanalyseerd om de positie van de planten individueel te bepalen. Deze informatie wordt gebruikt om roterende schoffelbladen, de InRow weeder disc, zo precies mogelijk rond het gewas te laten draaien. Daarvoor past de Robocrop computer constant de rotatiesnelheid van de schoffelschijf aan om de onderlinge verschillen in plantafstand te compenseren. Deze machine werkt op één enkele camera. Deze ziet een gewasgebied van ongeveer 2 meter breed. Als er wordt gewerkt met een grotere breedte wordt de machine van meerdere camera's voorzien.

(Garford, sd)

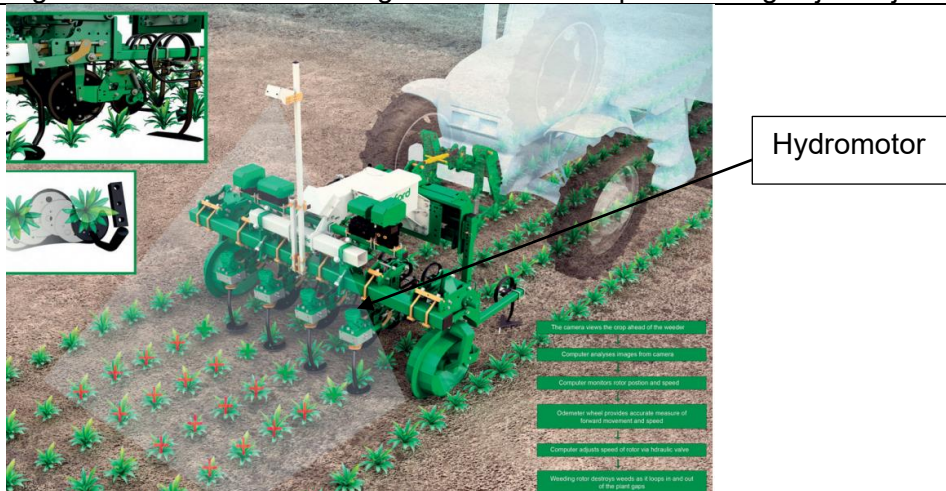


Figuur 14: Demonstratie van de roterende schoffelbladen van de Garford Robocrop inrow (Garford, sd)

Om de roterende messen aan te drijven kan met 2 systemen worden gewerkt. Er is versie met een hydromotor, waarbij deze geregeld wordt met een variabel debiet. Maar er is ook een elektrische variant met een motor met groot koppel verkrijgbaar.

Er valt met deze machine een grote capaciteit te bereiken, de hydraulische variant kan tot 4 planten per seconde schoffelen en de elektrische versie tot 6 planten per seconde. Als deze op een afstand van 50 cm van elkaar staan en de machine 6 meter breed is, kan in theorie meer dan 4ha per uur worden bewerkt. (Garford, sd)

Bij deze machine hangt het mechanisme ook boven de plantenrij, waardoor deze vooral in de groenteteelt kan worden ingezet omdat deze planten laag blijven tijdens de groei.



Figuur 15: Kunstmatige voorstelling van de machine die aan het werk is (Garford, sd)

2.1.7 Drimac ZIP

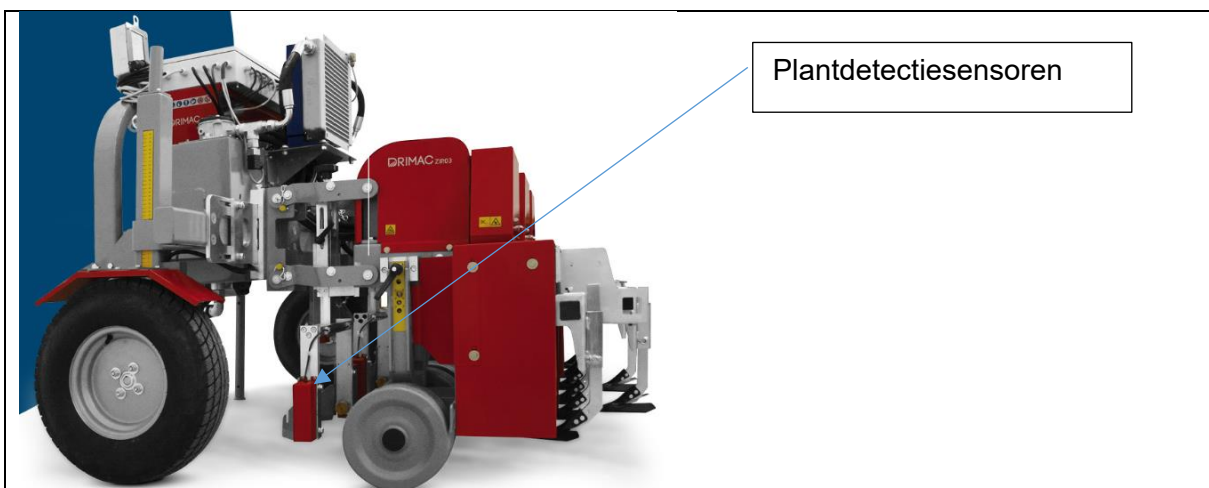
De Drimac ZIP (Figuur 18) is een relatief eenvoudige machine van Italiaanse makelij. Op deze machine wordt geen gebruik gemaakt van camera's of artificiële intelligentie maar zijn het simpele sensoren die de positie van de plant bepalen. Ondanks het gebrek aan camera's, is er toch een zeer grote precisie.

De machine kan worden ingezet in praktisch alle groenten, maar ook in maïs, bieten of rijst. Aangezien er geen camera's worden gebruikt is het dan ook niet nodig om instellingen te wijzigen als je van gewas verandert. (Drimac, sd) De machine is verkrijgbaar in uitvoeringen van 1 tot 6 rijen breed.

Met excentrisch mechanisme, aangedreven door een hydromotor slaat een schoffelmes heen en weer tussen de planten in de rij. Als de sensoren een plant hebben gedetecteerd zal de machine op deze plaats stoppen van bewegen op het moment dat ze zich uit de rij bevindt, daarna gaat het proces weer verder.

De machine heeft een eigen hydraulisch systeem die met de aftakas wordt aangedreven

Met dit mechanisme kunnen zowel grote als kleine onkruiden worden vernietigd. Enkel zal de plantendetectie moeizamer verlopen als er grote onkruiden aanwezig zijn.



Figuur 16: 3 rijige Drimac ZIP
(Drimac, sd)



Figuur 17: Schoffelmes die in de rij gaat
(Drimac, sd)



Figuur 18: 4 rijige machine in actie
(Drimac, sd)

2.1.8 Ferrari twistweed

De Ferrari twistweed (Figuur 20) gebruikt geavanceerde AI-technologie waarmee de planten individueel worden herkend en combineert deze informatie met roterende schoffelelementen die zowel in als langs de plantenrij de grond loswerken.



*Figuur 19: Dubbel roterend schoffelelement
Ferrari Growtech, sd)*



*Figuur 20: De tractor aangedreven variant van de machine
Ferrari Growtech, sd)*



*Figuur 21: Ingezoomd beeld van alle 4 de rijen die worden geschoffeld
Ferrari Growtech, sd)*

Het werkingssysteem valt te vergelijken met zowel dat van de Lemken IC Weeder als van de Robocrop inrow. Dankzij roterende, driehoekvormige messen kan zowel links als rechts van de rij zeer precies langs het gewas worden gewerkt en een nagenoeg perfecte onkruidbestrijding worden gerealiseerd.

Daarnaast heeft de machine ook een automatische hydraulische side shift om de machine links en rechts te sturen om recht in de rij te blijven.

2.1.9 PhotoHeyler Rotorhacke

Ook bij de PhotoHeyler Rotorhacke (Figuur 22) wordt opnieuw een andere manier gebruikt om grond in de rij te bewerken. De Rotorhacke heeft een verticaal roterend element die in de rij draait, mooi tussen de planten door om schade aan het gewas te voorkomen.

Met behulp van hun zelf ontwikkelde artificiële intelligentie kan het systeem het gewas detecteren, met als bedoeling om contact ermee te vermijden. Het is wel van belang voor het systeem dat de plant/zaai afstand gelijk is, enkel dan werkt de machine optimaal. Er kunnen snelheden tot 3,5 km/u worden gehaald. (Photoheyler, sd)

Doordat het roterend mes onder een hoek naar achter is gericht, wordt geen grond voorwaarts verplaatst. Het mes draait telkens naar achter door de hoek waaronder het gemonteerd is, tegen de rijrichting in. Zo blijft het tijdens het draaien steeds op dezelfde plaats en wordt er geen aarde tegen het gewas geduwd. Dit systeem noemen ze 'zero point engagement'. (Photoheyler, sd)

Om de machine recht in de rij te houden, worden ook de camera's gebruikt om de rijen te detecteren. Om dan effectief bij te sturen kan er gekozen worden voor een zijdelings schuivende aanpikbok, of wordt gebruik gemaakt van ISOBUS TIM. (Photoheyler, sd) Met dit 'Tractor Implement Management' systeem stuurt de machine dan het stuur van de tractor aan om het gewas perfect te volgen. Daarnaast kan de machine ook met ISOBUS Aux en sectiecontrole worden aangestuurd, om alle elementen afzonderlijk op te heffen en te laten zakken. (Photoheyler, sd)

Het parallellogramsysteem waarop hun tool is bevestigd, is ook compatibel met machines van andere grote merken zoals Hatzenbichler en Einböck.



Figuur 22: PhotoHeyler in rij systeem met zero point engagement (Photoheyler, sd)



Figuur 23: AI-gewasdetectie van PhotoHeyler (Photoheyler, sd)

2.1.10 Globus RFX02

De Globus RFX (Figuur 24) is een reflexschoffel met mechanische voeler. Deze gaat fysiek tegen de plant en stuurt een hydraulische bekrachtiger aan. Deze laat via een zuiger een schoffelmes tussen de rij gaan. Als de taster nergens tegenzit, zit het schoffelmes altijd in de rij. Een nadeel hiervan is dat er bij kleine planten niet genoeg weestand wordt geboden voor de taster, daardoor worden deze zelf kapot geschoffeld. Op de kwekerij waarin de schoffelmachine van deze bachelor proef wordt getest, is deze machine in het verleden aangeschaft geweest. Wegens het probleem met de mechanische voeler werd ze terug verkocht. De machine was te bruut voor kleine planten, en grote planten zijn niet meer toegankelijk voor de tractor.

Een andere manier om deze machine aan te sturen is met GPS. Dan zijn de planten in plantgaten aangeplant waarvan de exacte coördinaten steeds worden opgeslagen. Aan de hand van deze coördinaten kan het schoffelmes het gewas ontwijken.

Die toepassing kan enkel met een GPS van het merk Trimble.



Figuur 24: Globus Reflexschoffel
(Ezendam, sd)

2.1.11 Vanhoucke Engineering prototype

Vanhoucke engineering, uit Moorslede, heeft in samenwerking met ILVO een prototype ontwikkeld van een schoffelmachine (Figuur 25) om groenten, zowel tussen als in de rijen, te schoffelen. Ze willen zo dicht mogelijk bij de stam schoffelen. Ze merken dat er steeds meer vraag komt naar dergelijke machines en willen mee zijn in de nieuwste innovaties op de markt. Om de planten te detecteren maken ze gebruik van camera's in combinatie met artificiële intelligentie, rond de camera's hangen vier led bars om storingen van zonlicht te vermijden. Om de machine te trainen voor een gewas, rijden ze er eerst over met enkel de camera's actief. Van de gecapteerde beelden worden er vervolgens ongeveer 1000 gelabeld in een online platform genaamd CVAT. Het labelen kan met een bolletje in het center van de plant. Dan gaat de AI, als deze in actie is om te schoffelen, altijd het center van de plant detecteren en afhankelijk van de ingestelde gevoeligheid het mes zo dicht mogelijk tot tegen de plant in de rij laten blijven.

Om in de rij te werken wordt er zowel links als rechts van de rij een hydromotor geplaatst, aan deze motor hangt via een klauwkoppeling een schoffelmes bevestigd. Door de motoren telkens kwartslag te laten draaien, gaat het mes steeds uit de rij als het aan de stam van de plant komt, zo kan ervan aan beide kanten tot zeer dicht tegen de stam geschoffeld worden. Die precisie kan worden gerealiseerd aangezien het de stam is die door de AI wordt gedetecteerd.



Figuur 25: Foto van het hydromotor mechanisme tijdens de voorstelling van hun prototype op Agribex 2025 (ILVO, sd)

De kern van de zaak bij hun machine is om met simpele, relatief goedkope onderdelen in de rij te kunnen werken. In tegenstelling tot veel van hun concurrenten in de voorafgaande machines die dure aangepaste stukken gebruiken. De hele toepassing om in de rij te schoffelen is tevens ook gewoon op de standaard Focas Heavy van Vanhoucke engineering opgebouwd. Dit wil zeggen dat deze opbouw ook terug kan verwijderd worden en weer vervangen door klassieke onderdelen. Dit maakt de machine zeer variabel inzetbaar.

Het prototype dat werd gemaakt is gebouwd voor een drie-rijige beddenteelt, zoals salade. Met de huidige opstelling hangen de camera's bevestigd aan de parallellogrammen en hangt alles boven het gewas, het loopwiel om de diepte te regelen loopt ernaast. De hydromotoren en hun ventielen zitten in de parallellen geschoven. Omdat alles van boven het gewas komt, is het momenteel moeilijk om in hoge gewassen te schoffelen, maar mits wat simpele aanpassingen moet dit zeker lukken. De eenvoudige constructie kan zich hier goed onderscheiden van de concurrentie.

De Focas Heavy is uniek in zijn soort door de parallellogrammen die op drie punten zijn bevestigd, deze staan in een driehoek tegenover elkaar. Op deze manier kunnen tijdens het zijdelings bijsturen van de machine de zijwaartse krachten stevig worden opgevangen, waardoor er op termijn veel minder speling op komt. Dit systeem werd bedacht door enkele studenten als hun bachelorproef en is gepatenteerd door Vanhoucke engineering.

Het hydraulisch zijdelings bijsturen kan automatisch op basis van camerabeelden maar ook manueel via een joystick of het scherm in de cabine van de tractor. Hiervoor maakt men gebruik van Can-Bus communicatie met zelfontwikkelde software.

Dit prototype werd reeds voorgesteld op Agribex,2025 maar is nog niet in het veld getest geweest. Op Figuur 25 zie je hun testopstelling van toen. Er werd daar gebruik gemaakt van een vals houten schoffelmes, maar in de realiteit kunnen messen in verschillende vormen en maten worden gemonteerd, afhankelijk van de vrucht waarin de machine wordt ingezet.



*Figuur 26: Foto van het prototype
(Devolder)*

2.2 Schoffelonderdelen

In dit stuk van de literatuurstudie bespreken we de belangrijkste schoffelonderdelen voor de boomkwekerij en met hun functie (onderdelen zoals aanaardkappen of afaardschijven voor ruggenteelten zijn hier dus niet relevant). Naast het in de rij schoffelen, is de rest van het veld natuurlijk ook zeer belangrijk, of zelfs nog belangrijker aangezien dit een grotere oppervlakte is dan het beteelde deel in rijenteelten.

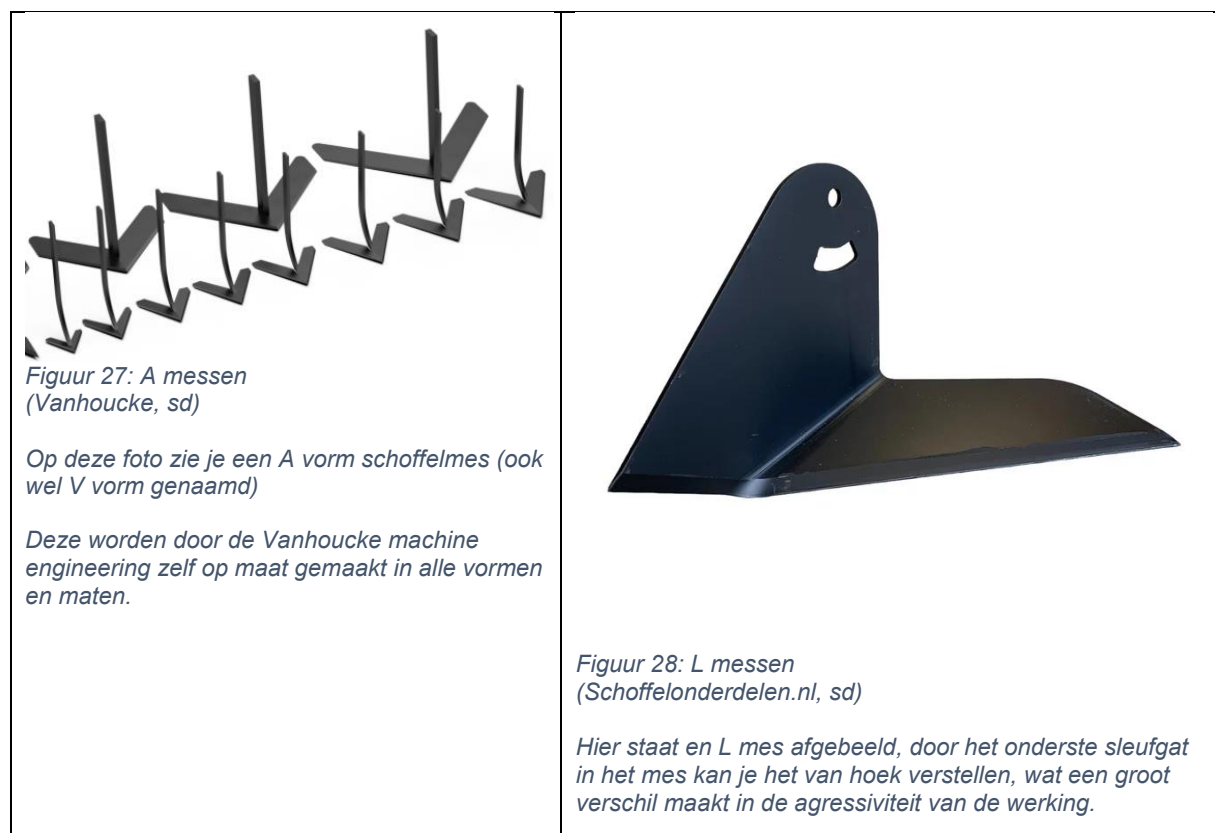
Er moet in gedachten gehouden worden dat naast de moderne toepassingen van het vorige hoofdstuk ook nog steeds de klassieke manieren bestaan, die op goedkopere wijze ook een goede werking hebben.

2.2.1 Schoffelmes

Het schoffelmes is vrijwel het meest gebruikte onderdeel dat wordt gebruikt op allerlei varianten van schoffelmachines. Het nut ervan is om alle kleine onkruiden van aan de wortel af te doden. Dit resultaat wordt bekomen door er zeer ondiep mee in de grond te gaan en zo het bovengrondse deel van het onkruid van de wortel af te snijden. Het zal dan na een tijdje opdrogen en afsterven. Schoffelmessen zijn te verkrijgen in alle breedtes en vormen die je mogelijk kan bedenken.

Het nadeel van een schoffelmes is dat het in harde droge grond, na een zeer lange droge periode, boven de grond sleept in plaats van erin snijdt. Dan is het heel moeilijk om een gewenst resultaat te verkrijgen.

Op Figuur 27 en Figuur 28 zie je enkele varianten van het schoffelmes.



De messen hebben hun naam, A, en L te danken aan de vorm die ze hebben. De A messen hebben een licht aanaardende werking, terwijl de L messen gaan afaarden.

Om het probleem dat messen niet in de grond gaan, aan te pakken, wordt er regelmatig gewerkt met een vibrerende messenhouder (Figuur 30). Deze gaat dan werken met hetzelfde principe van een triltand cultivator. Als het mes blijft vaststeken in de droge grond zal het daardoor naar achter buigen. Omdat de snijhoek van het mes tegenover de grond dan scherper wordt, zal het mes terug makkelijker in de grond gaan.

Een vast schoffelmes gedraagt zich eerder als een dood punt die boven de grond sleept.

Er is naast het L mes nog een andere aanaardende variant, deze wordt de slash genoemd (Figuur 29). De bevestiging ervan zit iets verder van de kant verwijderd, waardoor hij tot iets dichter bij de plantenrijen kan werken, zonder het gewas te beschadigen.



*Figuur 29: Slash
(Vanhoucke, sd)*

Slash vorm schoffelmes



*Figuur 30: Vibro messenhouder
(Schoffelonderdelen.nl, sd)*

Vibrerende messenhouder, gelijke werking triltandcultivator

2.2.2 Vingerwieders

Op zeer veel klassieke schoffelmachines wordt gebruik gemaakt van vingerwieders (Figuur 31 en Figuur 33). Dit is een ronde schijf waarop metalen of rubberen vingers zitten bevestigd. Deze dienen om onkruid in de rijen te verwijderen met zo weinig mogelijk schade aan het gewas. Het werkingsprincipe is vrij simpel. Er wordt op de schijf gewerkt met 2 verschillende diameters, op de binnenste cirkel zitten metalen pinnen naar beneden gericht. Deze grijpen zich vast in de grond waardoor de schijf bij het vooruitrijden, zal gaan draaien. De metalen of rubberen vingers draaien daardoor mee, omdat de diameter groter is aan de buitenkant draaien deze sneller dan de rijsnelheid en kunnen ze zo met trekkende werking aangrijpen op het onkruid.

Er bestaan verschillende varianten van de vingerwieder, zo kunnen de vingers bestaan uit rubber of staal of hardox. De metalen versies werkt iets agressiever dan rubber, deze gaan vaak meer aarde loswerken en omhooggooien. In droge omstandigheden zal de werking wel beter zijn dan bij rubber, maar door het harde materiaal is het risico op schade aan het gewas iets groter. Deze worden vooral in stevige gewassen gebruikt, en minder in groenten.

Van de rubberen versie bestaan er ook verschillende varianten, sommige hebben 1 grote rubber schijf, van anderen is de schijf onderverdeeld in aparte delen en nog van nog andere types kan je de vingers afzonderlijk vervangen. Het nadeel aan een schijf die maar uit 1 deel bestaat, is dat je alles moet vervangen bij het afbreken van 1 enkele vinger. Van de andere varianten is er dan maar een beperkt verlies als er een vinger afkraakt. De vervangbare vingers bestaan meestal wel uit een zachter materiaal, waardoor die ook rapper gaan afbreken maar wel zachter zijn voor het gewas.

Heel soms worden op de schijven voor aparte vingerwieders de rubberstukken vervangen door korte stukjes van olieleidingen. Omdat deze veel harder zijn, gaan die langer mee. Het nadeel hierbij is dat je meer risico hebt op gewasschade.



Figuur 31: Rubber Vingerwieder met 1 PU schijf (Schofflononderdelen.nl, sd)



Figuur 32: metalen vingerwieders (Subito, sd)

De agressiviteit van de vingerwieders hangt ook sterk van af de hoek waaronder deze gemonteerd zijn. Veel constructeurs maken de hoek van de vingerwieders zowel naar voor, als naar beneden afzonderlijk instelbaar. Daardoor kunnen ze de machine perfect afstellen aan de huidige omstandigheden en grondsoorten.

De bevestiging aan de schoffelbalk wordt vaak apart van het parallellogram gemaakt, zodat de vingerwieder niet het volledige element omhoogduwt als de grond even hoger ligt.

Omdat vingerwieders veel plaats innemen is het onmogelijk om ze in te zetten in teelten met een smalle tussenrij afstand. Er is minstens 35 cm voor nodig (Einböck Chopstar, sd) Daarom worden deze minder vaak gezien op machines die gebruikt worden in groenten, maar dan wel heel vaak in de sierteelt of in maïs.

Om toch te kunnen werken in een smalle rijafstand worden heel soms vingerwieders verticaal gemonteerd. In de sierteelt, meer specifiek in laanbomen, wordt ook vaak gebruikt gemaakt van verticale rolhaken om de grond los te maken (Figuur 35).



Figuur 33: In hoek verstelbare vingerwieder met aparte rubber vingers (Vanhoucke, sd)



Figuur 34: Apart gemonteerde vingerwieders (Einböck Chopstar, sd)



Figuur 35: Clemens SB Compact met rolhaken (Damcon, sd)

2.2.3 Wiedeggen

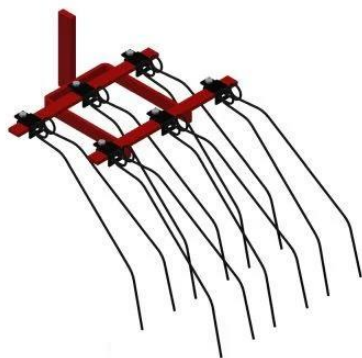
Een wiedeg is een combinatie van verschillende metalen stokjes met een beperkte dikte van 6 tot 8mm. Deze slepen door de grond en breken hem zo open. De toepassing ervan kan verschillen, ze wordt gebruikt om klein onkruid te verwijderen, zuurstof in de bodem te brengen of een korst te breken na verslamping. Wiedeggen worden ook regelmatig ingezet in graangewassen tijdens de fase van uitstoeling. Dan worden onkruiden verwijderd en het graangewas licht beschadigd, dat bevordert de uitstoeling.

Wiedeggen worden gemaakt in tal van varianten. Zo bestaan er volledige machines met enkel wiedegtanden, hiervan bestaan er met zeer grote werkbreedtes, tot meer dan 12 meter (Figuur 36). De agressiviteit van deze machine wordt bepaald door de tegendruk die aan de tandjes wordt gegeven, hoe meer tegendruk er is, hoe harder ze in de grond gaan spannen. De afregeling gebeurt door het opspannen van veren die aan de wiedeg tandjes trekken. Hoe sterker het gewas is geworteld en hoe sterker het loof, hoe agressiever de wiedeg mag werken, anders trek je naast het onkruid ook het hoofdgewas uit.



Figuur 36: wiedeg van 12 meter breed
(Van Hattum, 2023)

Er bestaan ook kleine wiedeg elementen die achter op een schoffelmachine worden gemonteerd, deze staan achter alle andere stukken en dienen vooral om het onkruid uit te trekken en de grond te egaliseren.



Figuur 37: wiedeg element
(Schoffelonderdelen.nl, sd)



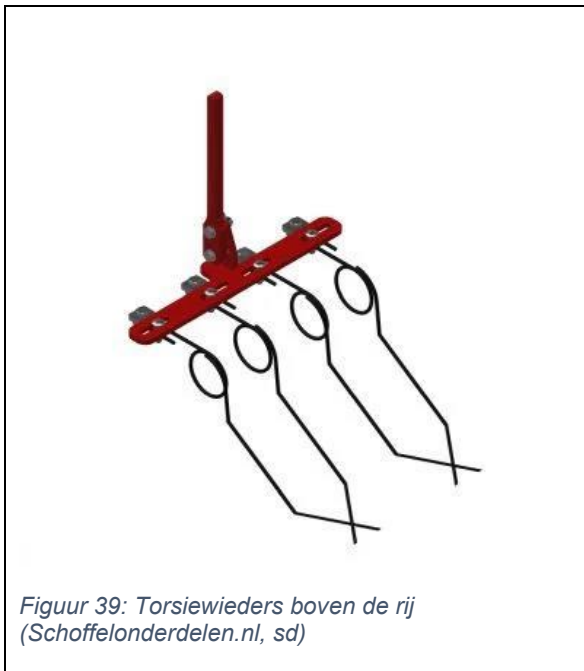
Figuur 38: wiedeg tand
(Schoffelonderdelen.nl, sd)

2.2.4 Torsiewieders

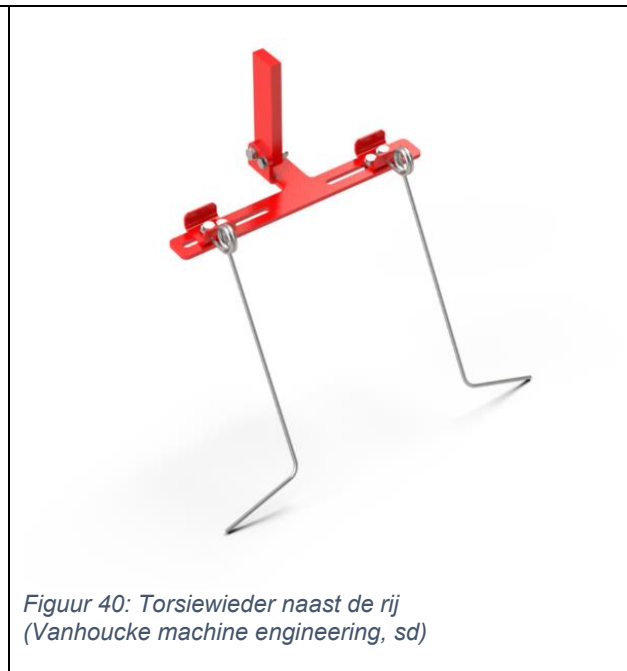
Torsiewieders lijken zeer goed op wiedeeggen, toch is hun werking een beetje anders. Waar wiedeeg elementen alles tussen de rij behandelen, dienen torsiewieders er juist voor om hetzelfde te doen in de rij. Door de gekromde vorm staan deze in de rij, maar door hun beperkte dikte en de weerstand van het gewas veren ze rond de planten terug uit de rij.

Om torsiewieders te gebruiken is er natuurlijk wel een zekere weerstand nodig van het gewas waarin gewerkt wordt. Anders zal naast het onkruid ook het gewas worden beschadigd of zelfs verwijderd.

Op Figuur 39 en Figuur 40 zie je twee variëte van torsiewieders. De linkse hangen boven de rij gemonteerd, en de rechtse ertussen.



*Figuur 39: Torsiewieders boven de rij
(Schoffelonderdelen.nl, sd)*



*Figuur 40: Torsiewieder naast de rij
(Vanhoucke machine engineering, sd)*

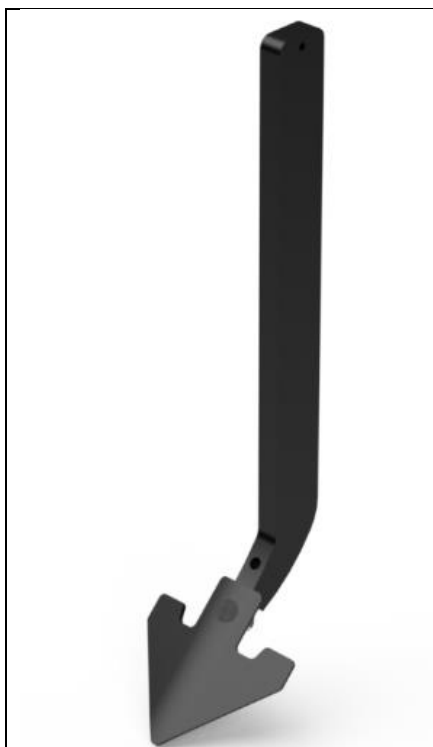
2.2.5 Cultivatorbeitels

Kleine versies van beitels van cultivatoren worden ook regelmatig ingezet op schoffelmachines. Een nadeel hiervan is dat er dan wel grote brokken grond kunnen bovenkomen, terwijl er liefst een fijn zaaibed behouden blijft. Hoe groter de beitels, hoe grover de brokken grond er mee gemaakt worden. Ook de werkingsdiepte heeft hier een belangrijke invloed op.

Om met cultivatortanden te schoffelen kan zowel met vaste tanden als triltanden worden gewerkt. De vaste tanden (Figuur 41) worden veelal gebruikt om grond los te werken en links en rechts ervan af te leggen, zo is het onkruid waar de tand passeerde weg en zitten de kiemonkruiden ernaast ook onder de grond, waardoor ze niet verder zullen ontwikkelen. In gewassen zoals kool kan dit wel nuttig zijn om als laatste schoffelbeurt te gebruiken, vlak voor het gewas zich sluit.

Van de triltandjes (Figuur 42) worden vooral de kleine varianten gebruikt, zoals op zaaibedbereiders. Dit doet men om verslechte grond terug open te breken en om zuurstof in de bodem te brengen. Daarnaast bieden ze een groot voordeel aan de werking van andere elementen zoals een schoffelmes of wiedeg, deze doen het altijd beter als de grond mooi losligt.

De beitels die worden gebruikt variëren sterk van standaard beitels tot ganzenvoet.



*Figuur 41: vaste tand met beitel
(Vanhoucke machine engineering, sd)*



*Figuur 42: Triltand van zaaibedbereider
(Schoffelonderdelen.nl, sd)*

2.2.6 Verkruijmelrollen

Verkruijmelrollen dienen vooral om de grond aan het einde van de schoffelmachine terug mooi te egaliseren en om de grote kluiten te verfijnen. Deze worden niet zo courant gebruikt maar laten toch een zeer mooi beeld na.

Er kan worden gewerkt met getande rollen zoals op een zaaibedbereider of vlakke rollen met plaats tussen (Figuur 43). Om compact te blijven zit het lager meestal in het midden van de rol in plaats van aan de zijkant. De rollen moeten ook een scharnierende bevestiging hebben zodat zij niet de werkingsdiepte gaan bepalen in plaats van het loopwiel.



*Figuur 43: Verstelbare verkruijmelrol
(Schoffelonderdelen.nl, sd)*

2.3 Andere manieren van chemievrije onkruidbestrijding

Naast de schoffelmachines en onderdelen die eerder al werden besproken zijn er natuurlijk ook nog andere herbicidevrije technieken beschikbaar op de markt. Zo bestaan er tegenwoordig al wiedrobots die elk kruidje afzonderlijk verwijderen en machines die met hoge voltages onkruid afdoden of wordt gebruik gemaakt van thermische onkruidbestrijding.

In dit hoofdstuk worden enkele van deze machines besproken.

2.3.1 Wiedrobots

Wiedrobots zijn autonome machines die onkruid afzonderlijk verwijderen of afdoden zonder gebruik te maken van herbiciden. Dit kan zowel op een mechanische als thermische manier. Ze werken ook op basis van artificiële intelligentie, de hoeveelheid data die moet gecapteerd en gelabeld worden om ze functioneel te maken in een bepaald gewas is wel veel groter dan bij de schoffelmachines die gebruik maken van AI.

Een voorbeeld van een wiedrobot is de ARW-912 (Figuur 44) van Andela techniek en innovatie uit Nagele, Nederland. De wiedrobot is speciaal ontwikkeld voor het verwijderen van onkruid in de rij. De Andela Robot Weeder beschikt over 12 wiedunits voor rijen op een onderlinge afstand van maximaal 75 centimeter. De (werk)breedte van de volledig in aluminium uitgevoerde machine is 9 meter, met een rupsonderstel op 3 meter spoorbreedte en een enkel sturend wiel aan de voorkant. RTK-gps zorgt ervoor dat de wiedrobot op koers blijft. (Stallen, 2022)



Figuur 44: Dronefoto van de Andela ARW 912 (Eissens)

Het elektrisch vermogen voor de voortbeweging van het werktuig, de rekenunit, de aansturing en het wiedsysteem komt volledig van de op het dak aangebrachte zonnepanelen. Op de ARW-912 zitten in totaal 43 elektromotoren. (Stallen, 2022)

Elke plant die als onkruid opgemerkt wordt, krijgt specifieke coördinaten. Daarmee wordt de delta-arm aangestuurd (Figuur 45). Aan de onderkant van deze arm zit een stift die de onkruidplant toucheert. Dit proces vraagt een fractie van een seconde en is toereikend om de temperatuur tot een voor de plant dodelijke hoogte op te voeren. Voordeel is dat de grond onberoerd blijft, zodat geen zaai-bed voor mogelijk nieuw onkruid wordt gecreëerd. (Stallen, 2022)



Figuur 45: Delta-arm die onkruid opzoekt en met verwarmingselement afdoodt (Stallen, 2022)



Figuur 46: Onkruid die is afgedood door hoge temperatuur (Stallen, 2022)

Naast de thermische bestrijding bestaan er ook robots die op de delta arm een mechanisch grijpmechanisme hebben om het onkruid uit de grond te trekken, net zoals wij mensen dat met de hand zouden doen. De Odd Bot Maverick (Figuur 48) werkt op deze manier.

Net zoals bij de andere robot worden er ook beelden gemaakt en met AI gelabeld. Op basis van deze beelden zet de machine een coördinaat op de onkruiden, die vervolgens met precisie worden verwijderd. De Maverick kan tot 240000 onkruiden per hectare verwijderen en is 24/7 inzetbaar. (Odd Bot, sd)



Figuur 47: Grijpmechanisme van Odd Bot Maverick (Odd Bot, sd)



Figuur 48: Odd bot Maverick (Odd Bot, sd)

Op (Figuur 49) zie je hoe de Odd Bot (en ook tal van andere machines) met behulp van op maat getrainde artificiële intelligentie de afbeeldingen, die van het veld worden gemaakt; labelt. Zoals je kan zien aan de kleur van de rechthoeken kan de AI duidelijk onderscheid maken tussen het gewas en onkruid, ook als deze slechts een minimale grootte hebben. Ook ziet de machine het groeipunt van de plant, daar staat een bolletje maar dat is moeilijker te zien op Figuur 49.



Figuur 49: AI-gewasherkenning van Odd Bot
(Odd Bot, sd)

2.3.2 Laserwieder

Laserwieders zijn nog niet echt bekend in de landbouwsector maar zien er wel een veelbelovend nieuw concept uit. Verschillende machinebouwers zijn bezig met ontwikkelingen om onkruid kapot te laseren. Het principe is vrij simpel, er wordt eerst met artificiële intelligentie onderscheid gemaakt tussen gewas en onkruid. Daarna wordt al het onkruid met precisie weg gelaserd.

Op Agritechnica 2025 waren voor het eerst laserwieders tentoongesteld. Er waren 4 fabrikanten die hun model voorstelden. Ondertussen zijn er al 8 verschillende fabrikanten die een laserwieder aanbieden op de Nederlandse markt. De opmars van deze technologie is enorm! Eén van de merken was ervoor al bekend, Carbon Robotics. (Koerhuis, 2025). Dit merk komt van origine uit de Verenigde Staten maar merkte dat er ook op de Europese markt veel vraag was naar hun machines. Daarom hebben ze geïnvesteerd in een productievestiging in Nederland. Deze werd in september 2025 operationeel. (Smits, 2025) Ze zijn wereldwijd marktleider op vlak van Laserwieders.

Ondertussen hebben ze reeds hun 2^e model voorgesteld op de beurs, de Laserweeder G2. De verandering tegenover het vorige is dat ze nu met een diodelaser werken, vroeger was dit een CO2 laser. De Diodelaser zou minder wegen, minder onderhoudsgevoelig zijn, heeft een 5 keer langere levensduur en beschikt over een vermogen van 240Watt. De voorgaande CO2 laser had maar een vermogen van 150Watt. Door het groter vermogen van de lasers vergroot ook de capaciteit van de machine. (Smits, 2025)

De nieuwe generatie kan modulair worden samengesteld. Vroeger was er een vaste werkbreedte van 6 meter. Er zijn in Europa verschillende varianten verkrijgbaar, met werkbreedtes van 2, 3, 4, 4,50 en 6 meter (Figuur 50). Hoe breder je gaat, hoe meer camera's, led lichten en lasers je moet aanschaffen. (Carbon Robotics, sd)



Figuur 50: Carbon Robotics Laserweeder G2 van Adrie Van Den Einden (Roek)

Bij Carbon Robotics houden ze de Artificiële intelligentie binnen hun bedrijf onderscheiden van de Laserwieder zelf. Deze heet Carbon AI, het algoritme is getraind op basis van meer dan 150 miljoen gelabelde onkruiden en inzetbaar in meer dan 100 gewassen. De beelden werden gemaakt in 15 verschillende landen en hun dataset is de snelst groeiende ter wereld in zijn categorie. (Carbon Robotics, sd)

Het kostenplaatje van hun machines is wel een grote reden waarom de machine nog niet overal in Europa wordt gebruikt. Voor het model van 6 meter breed betaalde de Nederlandse vollegrondsgroenten teler Adrie Van Den Einden ongeveer 1,4 miljoen euro. (Roek) Dit is een enorme som geld maar deze teler is van mening dat hij liefst een grote investering doet die 100% werkt, dan dat hij bespaart ten koste van de werking van de machine. (Roek)

De machine van één van hun concurrenten, Escarda (Figuur 52), is goedkoper. Deze Duitse fabrikant stelt hun laserwieders ook modulair samen waardoor deze heel klant specifiek kunnen geconstrueerd worden. De grootste machine uit hun assortiment beschikt over 8 lasers (Escarda, sd). De allerkleinste variant start bij een prijs van €130.000 en deze verhoogt naar gelang er meer modules worden opgebouwd om de werkbreedte te vergroten (Van Den Akker, sd). Daarnaast is Escarda hun laserwieder CE gecertificeerd, wat hem volledig in orde maakt voor de Europese markt. In Nederland worden hun machines verdeeld door de dealer Homburg

Ook PhotoHeyler (Figuur 51), de fabrikant die eerder aan bod kwam met hun roterende In-Row schoffelmachine, maakt tegenwoordig al laserwieders. Dit model krijgt de naam Jedimaster. Ze zien er anders uit dan de modellen van hun concurrentie omdat er geen afscherming van zonlicht rond de machine is gebouwd. De werking van het systeem is wel ongeveer gelijk.



Figuur 51: PhotoHeyler Jedimaster
(Maskinbladet, sd)



Figuur 52: Escarda Laserweeder
(Van Erkelens, 2025)

2.3.3 Elektrofysische onkruidbestrijding

Elektrische onkruidbestrijding maakt een grote opmars sinds het verbieden van herbiciden voor overheden en bedrijven. Vooral in openbare toepassingen wordt de techniek ingezet. De laatste jaren investeerden veel bedrijven in een machine voor elektrische onkruidbestrijding, om hiermee op openbare terreinen, wegranden en bedrijfsterreinen onkruiden te gaan afdoden.

De marktleider in machines voor elektrische onkruidbestrijding is het Zwitserse merk Zasso. Zij ontwikkelden hun machines samen met CNH group (Figuur 53) en bezitten een patent over deze techniek. Via Groep Verschueren worden hun machines in België geïmporteerd en verdeeld.

Er zijn twee machines nodig om met elektrofysische onkruidbestrijding aan de slag te gaan. Enerzijds een zware generator met ingebouwde omvormers en anderzijds een frame met elektrische geleiders. Achteraan de tractor hangt de generator met bijhorende hoogspanningsmodules en een koelsysteem. Vooraan hangt een frame met daaraan geleiders die elektrische stroom door de wortels van het onkruid laten vloeien. Aan het frame hangen 3 rijen geleiders. De voorste 2 zijn lijndraden, en de achterste is een nulgeleider. (Verschueren, sd)

Het koelsysteem bij de alternator achteraan de trekker is nodig omdat er bij het opwekken zo een groot vermogen aan elektriciteit ook enorm veel warmte wordt gecreëerd. De hoogspanningsmodules vormen het opgewekte vermogen om naar een spanning van ongeveer 8000 Volt. Maar dit varieert constant tussen de 5000 en 15000 Volt. (Thijssen, sd) Dit komt omdat het vermogen van de tractor die de generator aandrijft redelijk constant blijft, maar het gevraagde vermogen constant varieert. Hoe meer onkruiden er staan, hoe meer stroom er zal vloeien. Als het vermogen gelijk blijft maar de gevraagde stroom wijzigt, is het logisch dat de spanning ook fluctueert. Per meter werkbreedte kan tot 30 kW elektriciteit worden gebruikt.

Zasso's uitleg over het werkingsprincipe gaat als volgt: De hoogspanning wordt lokaal opgewekt uit de mechanische energie van de tractor of uit een alternatieve energiebron. De elektrische stroom gaat via de applicator naar de planten en vervolgens de grond in. Het elektrische circuit wordt gesloten door een tweede applicator die andere planten of de grond raakt. De energie zorgt ervoor dat de planten van binnenuit verwelken, tot in de wortels. Het fysieke contact tussen het te behandelen onkruid en de hoogspanningselektroden zorgt voor een stroom die alleen actief is tijdens de toepassing en geen residuen in de grond achterlaat. De hoogspanning wordt gemoduleerd in de gepatenteerde vermogensmodules en zorgt voor veilige, homogene onkruidbestrijding. De energie zorgt ervoor dat de planten van binnenuit verwelken, tot in de wortels. (Verschueren, sd)

Voor oppervlaktebehandeling in de landbouwsector heeft Zasso de XP300 op de markt gebracht. Deze wordt voornamelijk gebruikt om onkruid voor de opkomst van het geteelde gewas af te doden, of om grasland te vernietigen als alternatief voor Glyfosaat. Daarnaast wordt hij vaak ingezet om probleemkruiden zoals Jacobskruiskruid en knolcyperus te bestrijden. Beide onkruiden vormen jaar na jaar een groter probleem in de sector en daarom worden steeds meer technieken gezocht om het te kunnen oplossen.

Op Figuur 53 zie je duidelijk het werkingsprincipe van elektrische onkruidbestrijding bij de Zasso XP300. Ze maken bij Zasso ook nog andere varianten voor specifieke toepassingen.



Figuur 53: Foto van werking elektrofysische onkruidbestrijding (Verschueren, sd)

Het nadeel van deze techniek voor het bestrijden van knolcyperus is dat de akker braak moet blijven liggen, aangezien anders ook het gewas zou worden afgedood. Hierdoor gaat de kostprijs van deze behandeling serieus stijgen. Om knolcyperus terug te dringen en te vermijden dat het zich kan vermeerderen, moet het 4 keer op een jaar behandeld worden. Aangezien er veel knollen in de grond zitten, zijn er altijd nieuwe knollen die zullen kiemen en toch nog gaan vermeerderen. Daarom moet vanaf half mei elke maand een behandeling worden uitgevoerd.

Bij de bestrijding van Jacobskruiskruid is het nadeel dat de gewasresten ervan achterblijven op het veld, en deze dus achteraf moeten worden opgeraapt. Anders zou het nog steeds giftig blijven voor de dieren die het opeten. Bij de bestrijding hiervan hangen de lijndraadgeleiders van het werktuig boven het gras, waardoor het gespaard blijft.

Een nevenmerk van New Holland, Agxtend heeft samen met Zasso ook een werktuig ontwikkeld die elektrische onkruidbestrijding in rijengewassen toelaat. Ook andere merken ontwikkelen hieraan, zoals Andela uit Nederland. (Pleinchamp, sd). Dit heeft veel eigenschappen van een schoffelwerktuig, aangezien het de gewasrijen gespaard moet laten.



Figuur 54: Agxtend XPR (Matériel Agricole, sd)



Figuur 55: Andela elektro weeder (Andela)

Naast deze toepassingen heeft Zasso samen met Groep Verschueren ook een hydraulische zwenkarm voor op alle modellen van +200 pk van de CNH-groep ontwikkeld. Deze heet de XPA, hierop hangt een elektrowieder met werkbreedte van 1,2 meter. Deze worden ingezet om langs wegen en openbare domeinen onkruiden te doden op moeilijk bereikbare plaatsen of hellingen. Krinkels heeft er reeds enkele aangeschaft, die worden ingezet voor de bestrijding van Japanse duizendknoop. (Krinkels, sd). Volgens onderzoek zouden 3 tot 5 behandelingen per jaar voldoende zijn om deze invasieve woekerplant te onderdrukken.



Figuur 56: Zasso XPA Krinkels (Krinkels, sd)



Figuur 57: Elektrische bestrijding Japanse duizendknoop (Exotenwacht)

Voor nog een andere toepassing van elektrische gewasdoding ontstond samenwerking tussen 2 bedrijven, Crop Zone en Nufarm. Zij brachten onder de merknaam Nucrop een systeem op de markt om het loof van aardappelen elektrisch af te doden (Figuur 58) (Claver, sd). Hiervoor gebruiken ze 2 machines, vooraan op de trekker een veldspuit die elektrisch geleidende vloeistof (Volt Fuel) op de aardappelen sproeit, en achteraan de generator en elektrische geleiders. De machine heeft een werkbreedte van 12 meter en een capaciteit van 3-6 ha per uur.

Het voordeel van dit systeem is dat de werking sneller is dan bij herbiciden, dus er kan langer worden gewacht waardoor er meer groeidagen zijn en de opbrengst dus beter is (Hiddink, sd). Daarnaast is de schilkwaliteit ook beter, omdat er sneller kan worden geoogst. Het nadeel is dat er meer sporen zijn waar een zware tractor door moet rijden. Hierdoor is er meer groenverkleuring en zijn deze sporen moeilijker om te rooien. Ook de CO2 voetafdruk is hoger dan bij chemische loofdoding. Volgens Frits Houden van Nieuwe oogst kost het €100 per hectare meer dan sproeien, maar dat wordt gecompenseerd door de meeropbrengst. (Houden, sd)



*Figuur 58: Nucrop elektrische loofdoding
(Nucrop)*



*Figuur 59: Nucrop elektrische loofdoding
(Le Sillon Belge)*

2.3.4 Thermische onkruidbestrijding

Thermische onkruidbestrijding is een veelgebruikte techniek in de biologische landbouw en op openbare- en bedrijfsterreinen, sinds het verbieden van herbiciden voor particulieren en bedrijven. Er wordt gewerkt met één of meerdere toortsen die op de grond of de bodem worden gericht. Het gas dat wordt gebruikt om te verbranden is bijna altijd vloeibaar propaangas. Dit wordt verdampt om een gasvormige structuur te krijgen en daarna ontstoken en opgebrand. (Vanhoucke machine engineering, sd). Er wordt gewerkt met temperaturen tussen de 600°C en 1000°C. Als een plant deze temperaturen enkele seconden te verduren krijgt, zal door het opstijgende vocht de celstructuur ervan volledig kapot gemaakt zijn. In de tijd erna zal het dan volledig afsterven en opdrogen. (Benegas, sd)

Op openbare domeinen of bedrijfsterreinen wordt meestal gewerkt met handmatige branders of duwbranders. Veel steden en gemeentes gebruiken dit als alternatief voor herbiciden die ze sinds 2015 niet meer mogen inzetten. Naast propaanbranders wordt ook vaak extreem heet water of stoom ingezet om onkruiden af te doden. Het resultaat is altijd pas na een tijdje zichtbaar aangezien het niet nodig is om het onkruid helemaal kapot te branden. (Benegas, sd)

In de landbouwsector wordt de techniek meestal ingezet in fijne zaadteelten die veel tijd nodig hebben om te kiemen. (Voornamelijk in biologische teelten) Dan wordt in de gangbare methode vlak voor de opkomst en vlak voor het zaaïen het gehele veld kapot gebrand (Inagro, sd). In teelten zoals witloof en Chicorei kan er ook na de opkomst met een onkruidbrander worden gewerkt, deze gewassen zijn veel meer bestand tegen de hitte omdat hun groeipunt dieper in de grond zit (Inagro, sd). In dit geval wordt gewerkt met een rijenbrander, om het gewas toch te kunnen sparen.

Naast het afdoden van onkruid heeft een brander ook nog andere effecten, zo zullen ook schimmels en bacteriën er een invloed van ondervinden en deels of helemaal worden afgedood (Vanhoucke machine engineering, sd). Vooral in de biologische landbouw is dat een groot voordeel aangezien ze daar minder bestrijdingsmiddelen hebben voor deze belagers.

Bij de branders van Vanhoucke worden ook grote ventilatoren toegevoegd (Figuur 61) om steeds voldoende zuurstof te hebben voor de verbranding. Het oppervlak onder de machine is ook aan de voor- en achterkant volledig door inox plaatjes afgesloten om de temperatuur te kunnen behouden en het gasverbruik zo te beperken (Vanhoucke machine engineering, sd).



Figuur 60: Handmatige onkruidbrander (Tuinplaats, sd)



Figuur 61: Vanhoucke Tryfon Light onkruidbrander (Vanhoucke machine engineering, sd)

2.4 Boomkwekerijgewassen waarin zal geschoffeld worden

De boomkwekerij waarbij deze bachelorproef zal worden uitgevoerd kweekt een 40-tal plantensoorten. Dit varieert van heesters tot coniferen en bosgoed. Om de test uit te voeren selecteerden we de acht meest gekweekte soorten. Deze zijn: *Phillyrea angustifolia*, *Prunus lusitanica* 'Angustifolia', *Ilex Blue Prince/Blue Maid*, *Osmanthus burkwoodii*, *Osmanthus heterophyllus*, en *Taxus bacatta*

De overige bosgoed planten groeien veel te snel waardoor het zeer veel tijd in beslag zou nemen om hiervan een AI-model te trainen. Deze soorten zijn voornamelijk: *Amelanchier lamarckii*, *Ligustrum*, *Corylus*, *Euonymus* en nog tal van andere meerstammigen. Deze maken op korte tijd een enorm snelle groei en de ruime vertakking die het zeer moeilijk om gedurende het hele groeiseizoen te blijven schoffelen zonder schade aan te richten aan de planten. Zeker met de machine van ILVO en Vanhoucke waar het schoffel element boven de rij hangt, in plaats van tussen de rijen is dit onmogelijk.

Op Figuur 62 en Figuur 63 zie je 2 velden waarop deze bosgoedsoorten zijn aangeplant met exact 1 jaar verschil. Met het verschil in grootte van de planten op deze 2 velden is het bijna niet te geloven dat deze maar 1 jaar verschillen.



Figuur 62: Bosgoed aangeplant in april 2026 (Devolder)



Figuur 63: Bosgoed aangeplant in april 2025 (Devolder)

2.4.1 *Phillyrea angustifolia*

Phillyrea angustifolia, ook wel steenlinde genoemd, is een middelgrote tot grote groenblijvende heester uit de olijffamilie. Hij groeit bossig en compact met smalle, leerachtige, donkergroene tot grijsgroene bladeren. In mei en juni verschijnen geurende, groenwit gekleurde bloempjes. De steenlinde groeit het best op een beschutte plek in zon of halfschaduw en doet het goed in elke goed doorlatende grond. Hij is geschikt als kustplant, verdraagt zeewind, luchtvervuiling en droogte, is redelijk winterhard en weinig gevoelig voor ziekten. Ideaal voor hagen, informele tuinen en borders. (ChatGPT, sd)

Op Figuur 64 en Figuur 65 zie je *Phillyrea angustifolia* in verschillende groeifases.



Figuur 64: *Phillyrea* waarin wordt geschoffeld (Devolder)

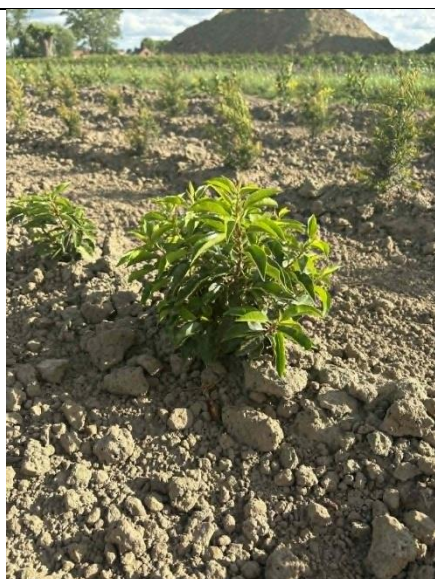


Figuur 65: Verder ontwikkelde *Phillyrea angustifolia* (Devolder)

2.4.2 *Prunus lusitanica* 'Angustifolia'

Prunus lusitanica 'Angustifolia', of Portugese laurier, is een compacte, wintergroene sierstruik met een dichtvertakte, opgaande groei en smaller blad dan de gewone soort. In mei en juni bloeit hij met geurende witte bloemtrossen en glanzende, donkergroene bladeren. Hij groeit goed in zon of halfschaduw, verdraagt vrijwel elke grondsoort, is redelijk winterhard en vormt in de herfst niet-eetbare vruchtjes. Deze populaire haagplant trekt bijen en vlinders aan. (Willaert, *Prunus lusitanica* 'Angustifolia', sd), (ChatGPT, sd)

De gewone *Prunus lusitanica* heeft grotere en bredere bladeren en groeit iets dikker dan de 'Angustifolia'. Het verschil is maar een detail, bij mensen die dit niet weten zal het hen ook niet opvallen.



Figuur 66: Kleine *Prunus lusitanica* 'Angustifolia' (Devolder)



Figuur 67: Kleine *Prunus lusitanica* (Devolder)



Figuur 68: Middelgrote *Prunus lusitanica* 'Angustifolia' (Devolder)



Figuur 69: Middelgrote *Prunus lusitanica* (Devolder)

2.4.3 Ilex Blue Maid/ Blue Prince

Ilex meserveae 'Blue Maid' is een populaire mannelijke blauwe hulst met een compacte, dichte groei, paarse twijgen en glanzende, stekelige blauwgroene bladeren. In de lente bloeit hij met kleine witgroene bloempjes en bestuift hij vrouwelijke hulstplanten. Deze wintergroene struik is zeer winterhard, verdraagt zeewind en luchtvervuiling, maar houdt niet van kalkrijke grond. Ideaal voor dichte, ondoordringbare hagen en blokbeplanting. (Willaert, Ilex meserveae 'Blue Maid'®, sd), (ChatGPT, sd)

De Ilex Blue Prince heeft zowat dezelfde eigenschappen, mensen die het verschil niet kennen zullen dit ook nooit waarnemen. Zelfs de kweker moet vaak nagaan hoe ze werden aangeplant om zich zeker niet te vergissen.



Figuur 70: Kleine Ilex



Figuur 71: Middelgrote Ilex

2.4.4 *Osmanthus x burkwoodii*/ *heterophylus*

Osmanthus x burkwoodii, of schijnhulst, is een groenblijvende struik die ideaal is voor hagen, groenschermen en vormsnoei. Hij heeft glanzende, donkergroene bladeren en bloeit in april en mei met heerlijk geurende witte bloempjes. In de herfst kunnen blauwzwarte vruchtjes verschijnen. Deze struik groeit goed in zon of halfschaduw op goed doorlatende grond, is snoeitolerant, trekt bijen aan en verdraagt zeewind, ziekten en luchtvervuiling. (Willaert, *Osmanthus burkwoodii*, sd), (ChatGPT, sd)



Figuur 72: Kleine *Osmanthus x burkwoodii* (Devolder)



Figuur 73: Middelgrote *Osmanthus x burkwoodii* (Devolder)

Daarnaast is er ook nog de *Osmanthus heterophylus*, deze heeft zowat allemaal dezelfde eigenschappen van de Burkwoodii, maar heeft licht stekelige bladeren met een iets donkerdere kleur. De vorm van de plant is wel gelijk.



Figuur 74: Kleine *Osmanthus heterophylus* (Devolder)



Figuur 75: Middelgrote *Osmanthus heterophylus* (Devolder)

2.4.5 *Taxus baccata*

Taxus baccata, ook wel venijnboom genoemd vanwege zijn giftige delen, is een groenblijvende conifeer met zachte, glanzend groene naalden. Hij groeit goed in zowel volle zon als schaduw en voelt zich thuis in lichtzure tot kalkrijke, goed doorlatende grond. *Taxus* is winterhard, verdraagt droogte, zeewind en luchtvervuiling en is weinig gevoelig voor ziekten. Dankzij zijn trage groei, lange levensduur en uitstekende snoeitolerantie is hij bijzonder geschikt voor duurzame, groenblijvende hagen. (Willaert, *Taxus baccata*, sd), (ChatGPT, sd)



Figuur 76: Kleine *Taxus baccata*



Figuur 77: Middelgrote *Taxus baccata*

2.4.6 Foto van het proefveld

Op Figuur 78 zie je het veld waarop al deze 'kleine' planten van bovenstaande tussenhoofdstukken zijn aangeplant. Het veld is gelegen in Kanegem en heeft een oppervlakte van ongeveer 1,5 ha. Alles werd aangeplant in september 2025, deze foto is genomen in maart 2026.



*Figuur 78: Foto van het proefveld
(Devolder)*

3 Materiaal en methode

3.1.1 Brainstormen met Vanhoucke Machine Engineering

In de eerste fase van de bachelorproef was mijn plan om tijdens mijn stage bij Vanhoucke Machine Engineering een nieuw systeem te ontwikkelen om in de boomkwekerij op mechanische wijze onkruid in de rij te verwijderen. Tijdens de stage deed ik vooral montagewerken en op school zagen we weinig van technische tekeningen, enkel in het middelbaar kwam ik hier mee in aanraking. Ik ging daarom eens binnen bij hen op de bureau om hierover enkele vragen te stellen over mogelijke systemen en om praktische regelingen te bespreken. We schetsten samen op papier enkele zaken over een zwenkarm mechanisme die met behulp van een cilinder in en uit de rij kon scharnieren. Deze zouden in principe een mooie werking geven maar het was volgens ons moeilijk om hiermee een grote rijsnelheid te kunnen halen.

We hadden ook enkele ideeën om te werken met een rotorkop om de grond te bewerken, maar deze zou waarschijnlijk iets te bruusk tewerk gaan en veel nieuwe onkruidzaden naar boven brengen om te kiemen. Het is en blijft nog steeds belangrijk om tijdens het schoffelen ondiep en voorzichtig tewerk te gaan. Daarom zou het in het geval van de boomkwekerij, waar de teelt meerdere jaren staat beter zijn om gewoon met een schoffelmes te werken.

Daarnaast had ik ook nog veel twijfels over hoe ik een machine kon maken die het boomkwekerijgewas van onkruiden kan onderscheiden. Thuis hadden we al nagedacht over een elektronisch systeem met een voeler waarop een hoeksensor stond gemonteerd. Aan de voeler zouden we een veer monteren die net krachtig genoeg is aangetrokken om te reageren op het gewas, maar onkruiden zou omverduwen. In theorie leek dit een goed systeem maar in de realiteit zou dit zeer moeilijk zijn om steeds bij te regelen en foutloos mee te werken.

Na het brainstormen vertelden ze mij over hun project met ILVO waar ze volop mee aan het testen en ontwikkelen zijn. Hiermee willen ze met een actieve tool onkruiden in de rij bestrijden, de tool is gemaakt met gangbare onderdelen die een aanvaardbaar prijskaartje hebben. De gewasherkenning gebeurt met een belicht camerasysteem en waarbij artificiële intelligentie het gewas van onkruid onderscheidt en de exacte locatie van elk plantje bepaalt. Voor dit project hebben ze al een prototype ontwikkeld waarmee ze in samenwerking met ILVO reeds enkele testen hadden uitgevoerd. Dit systeem werd ook voorgesteld op Agribex 2025. Ze vroegen me of ik het zag zitten om met dit project mee aan de slag te gaan. Deze machine werd in de literatuurstudie reeds besproken in hoofdstuk 2.1.11. Verder in dit hoofdstuk zal ik hier nog dieper op ingaan.

Ik zag het helemaal zitten om mee te werken aan dit project aangezien het voor mij een mooi resultaat kan opleveren en ik ook geïnteresseerd ben in dit soort technologieën. In de toekomst zal elke landbouwer nog veel in aanraking komen met dergelijke systemen dus ik vond het aangenaam dat ik de kans kreeg om hierover kennis op te doen.

De bachelorproef kreeg dus een andere wending aangezien ik eerst zelf een machine wilde ontwerpen en maken, maar ik ben blij met het verloop van de proef aangezien ik nu ook veel heb bijgeleerd over de nieuwste technologieën en heb meegemaakt hoe de ontwikkeling van een machine eraan toegaat.

3.1.2 Eerste contact met ILVO, samen met Vanhoucke

Kort nadat ik de vraag kreeg of ik aan het project van VME en ILVO wilde meewerken mocht ik deelnemen aan een online meeting tussen Steven Vanhoucke en Simon Cool van ILVO. Steven stelde me kort voor aan Simon en ik legde aan hem uit dat ik, als ik hiertoe de kans kon krijgen, een AI-model wou trainen die verschillende soorten planten van onze boomkwekerij kan herkennen. Als dit zou werken wilde ik de machine testen in onze planten en kijken hoe efficiënt deze tewerk gaat om te achterhalen of dit mogelijk een goede investering is voor ons bedrijf.

Simon begreep wat ik wilde doen en wou hieraan meewerken, aangezien het voor hen ook interessant was om de machine te kunnen testen. Normaalgezien ging ze in die periode van het jaar worden ingezet in broccoli en koolgewassen, maar deze tests werden geannuleerd omdat de landbouwer in kwestie zijn gewas heeft beschermd met acryldoeken.

Ik kreeg vóór de meeting de opdracht van Steven om duidelijke beelden te maken van de planten waarin ik wilde testen, zo zouden ze zien of hun machine compatibel zou zijn of niet. Ik nam beelden van 6 variëteiten, in 2 verschillende leeftijden. Hiervoor gebruikte ik de camera van mijn smartphone en een plooiometer om de grootte van het gewas duidelijk aan te tonen. Hieronder op Figuur 79 tot Figuur 84 zie je enkele voorbeelden, door mij genomen.



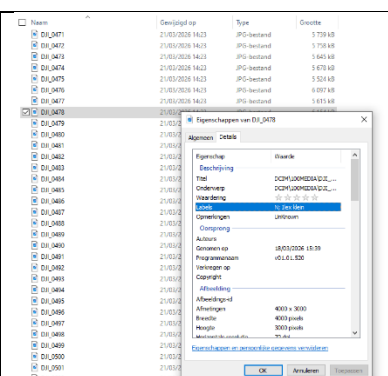
In de meeting heb ik deze beelden dan voorgesteld. Volgens hen ging het wel mogelijk zijn om in dit gewas te werken. Ik kreeg vervolgens de opdracht om duidelijke, gelijke, beelden te maken van de planten van bovenaf. Achteraf moest ik deze in een aparte map op de computer opslaan en volgens soort, in de eigenschappen van de foto te labelen. Op die manier konden ze vlug per soort worden teruggevonden. Zo kon hij zien of het goed zou gaan om hiervan een AI-model te trainen om aan gewasherkenning te doen. De avond zelf nog ging ik aan de slag om deze beelden te maken. Om gelijke beelden te maken van bovenaf gebruikte ik een drone die we thuis al enkele jaren hebben, een DJI Phantom 3 SE. Dit gebeurde op verschillende momenten wegens de kleine batterijcapaciteit van de drone. In totaal maakte ik ongeveer 500 foto's.



Figuur 85: DJI Phantom 3 SE Drone



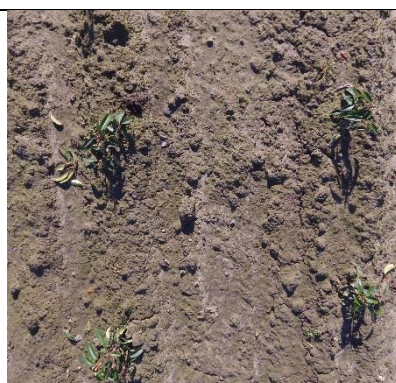
Figuur 86: Label volgens soort



Figuur 87: Label volgens soort



Figuur 88: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'



Figuur 89: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'



Figuur 90: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'

Met deze foto's konden ze bij ILVO tijdens de tweede meeting, een week later, in detail zien waarover het precies allemaal ging. Volgens Simon was het zeker mogelijk om hiermee aan de slag te gaan. Hij gaf een korte uitleg over hoe het trainen van het AI-model zou verlopen. Eerst ging er een grote hoeveelheid aan data moeten gecapteerd worden, dit zijn in dit geval foto's van het gewas. Daarna zou hierop via een data verwerkend programma steeds handmatig het gewas worden aangeduid op de foto's en daarna zou dit geupload worden in een AI-programma die verbanden zoekt tussen de foto's.

Vervolgens maakten we enkele praktische afspraken om eens af te spreken bij ILVO zodat ik de machine eens kon bekijken. Toen ik daar was leek alles van de machine compatibel en besloten we dat ik ze enkele dagen later met onze eigen tractor zou ophalen en na de captatie zo snel mogelijk zou terugbrengen. De tractor van ILVO was op dat moment bezet en stond daarnaast ook niet op de juiste spoorbreedte.

Vóór we startten, merkten we een klein probleem op. De schoffelelementen zijn gemaakt om boven de gewasrij te hangen, in plaats van tussen de rijen. Hierop had ik niet gerekend omdat er bij ons ook 3 elementen zijn, en ik ervan uitging dat de schoffel ongeveer identiek was aan de onze. Dit bleek niet het geval en deze was dus geschikt voor teelten met 3 rijen per bed en een onderlinge afstand van 60cm. Bij ons zijn er 2 rijen per bed is de onderlinge afstand 67 cm.

Om dit op te lossen hebben we tijdens het capteren met de side shift de schoffelbalk volledig naar links geschoven. Omdat de stuurschijf die hiervoor wordt gebruikt 30cm naar elke kant kan uitschuiven was er voor het middelste en rechtse element al niet veel verschil meer met de rij en konden we met de camera's mooi beide rijen in beeld brengen. Het linker element was sowieso zonder camera dus naar rechts verschuiven was geen optie. Daarnaast hebben we ook alles die in de weg ging van het gewas omhoog geplaatst, om schade te vermijden. Hieronder staan enkele foto's van hoe we dit oplosten.



Figuur 94: Schoffel niet mooi in rij



Figuur 95: Schoffelelementen verhoogd



Figuur 96: Schoffelelementen niet perfect boven de rij

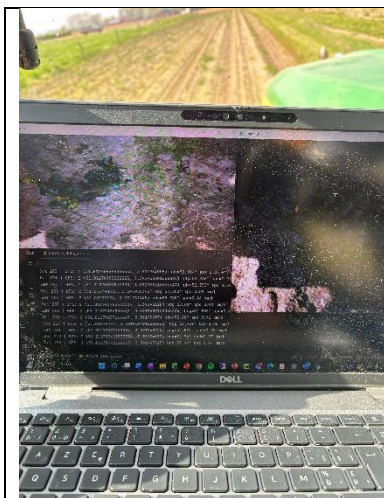
Zoals je ziet op Figuur 94 stonden de elementen, en dus ook de camera's die er vast aan verbonden zijn niet mooi boven de plantenrijen. Daarnaast haperden de oliemotoren van de actieve tool ook aan de planten. Daarom hebben we, zoals je op Figuur 95 kan zien, de elementen hoger aan de machine gemonteerd. Zo was er een grotere bodemvrijheid en dus minder gewasschade. Nadat we de side shift volledig naar links verschoven hingen de camera's bijna perfect boven het gewas. Je ziet op Figuur 96 dat 1 rij nog iets meer naar de buitenkant zou moeten maar op dat moment hebben we er niet meer aan bij geregeld.

Daarna konden we aan de slag met capteren. Ik reed met een snelheid van 0,83 km/u over het veld terwijl de camera's de beelden opnamen. Eerst verliep alles goed, maar na een tijdje hadden we veel problemen met de belichting van de foto's van de middelste camera. Eerst dachten we dat dit kwam door de zon die feller scheen, omdat de wolken verdwenen waren. Toen dit probleem bleef duren zagen we dat de 4 led bars rond de camera niet meer actief waren. We wisten niet echt hoe we dit konden oplossen, we hadden ook nog een ander probleem en dat was dat de laptop van Reinout bijna leeg was en we in de tractor niet konden opladen. Daarom besloten we om te stoppen voor die dag.

2 dagen later gingen we verder met capteren en was ook Maarten Vanhoucke van de partij. Hij hielp ons om te zoeken wat de oorzaak was van de defecte belichting en we vroegen hem ook om raad om de machine nog beter boven de rij te krijgen. Met zijn multimeter ging hij aan de slag en kwam hij na een tijdje tot de conclusie dat het uitgaand signaal om de relais van de led bars te activeren van de middelste camera vaak niet werd aangestuurd. Jammer genoeg hadden we geen reservecamera mee ter plaatse, daardoor kon het probleem niet direct worden opgelost.

We hebben ook samen met hem de actieve tools horizontaal op de elementen gemonteerd zodat er nog meer bodemvrijheid was, waardoor er niets meer aan de planten haperde. Dit maakte een zeer groot verschil. We hebben ook de dieptewielen van het chassis uitgehaald omdat ze anders in de weg zaten van de camera.

Op Figuur 97 tot Figuur 102 kan je zien hoe alles eruitzag tijdens het capteren en staan er beelden van op Reinout zijn laptop tijdens het capteren en hoe het capteren verliep.



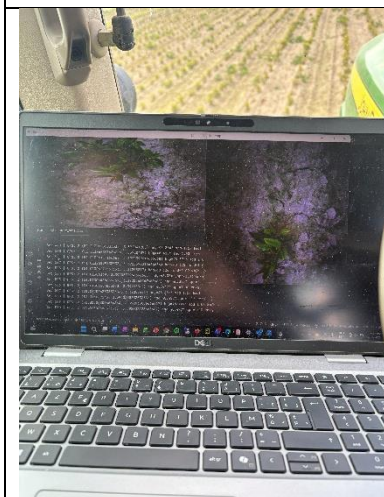
Figuur 97: Foto met slechte belichting



Figuur 98: Foto tijdens capteren



Figuur 99: Werken aan de machine



Figuur 100: Foto met betere belichting



Figuur 101: Foto tijdens capteren

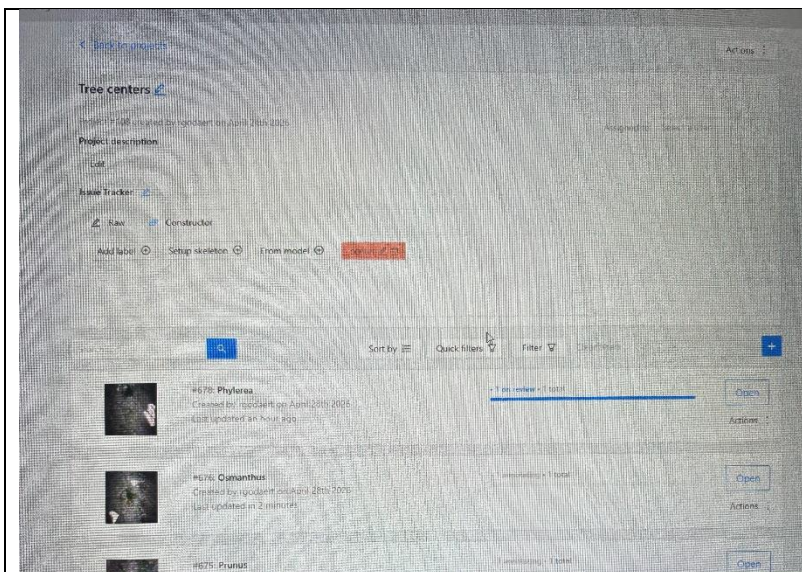


Figuur 102: Foto tijdens capteren

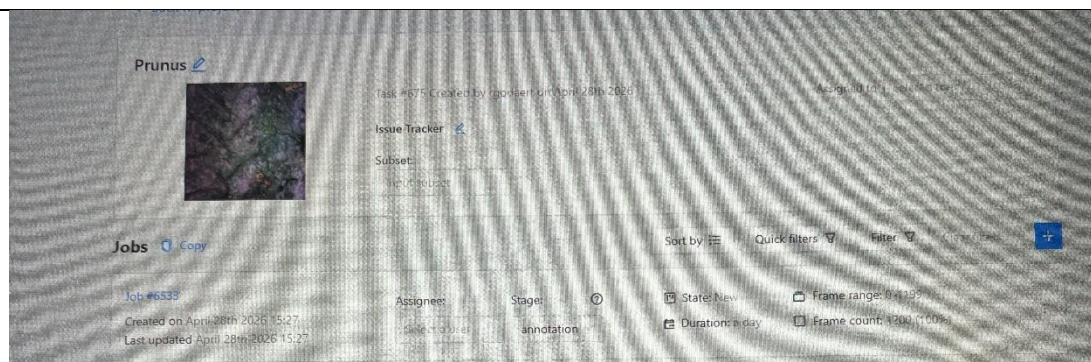
3.1.4 AI-model trainen op basis van gecapteerde data

De beelden die werden gecapteerd moesten daarna gelabeld worden, dit houdt in dat er een puntje in het groeicenter van de plant wordt geplaatst of een box worden getekend rond de volledige plant. Er werden beelden verwerkt van alle 5 de gecapteerde plantensoorten, van elk werden er 1200 foto's gebruikt. Op al deze foto's werd een bolletje in het center geplaatst. Dit duurde ongeveer 6 uur in totaal. Om zeker een goed AI-model te verkrijgen moest ik ook van alle plantensoorten bij ongeveer 500 foto's een box rond de plant uittekenen. Ook hieraan spendeerde ik ongeveer 6 uur.

In totaal ging ik hiervoor 3 namiddagen naar het ILVO Agrotechniek & Productkwaliteit en -innovatie centrum. Aan het bureau van Reinout kon ik al deze foto's labelen via het programma CVAT (Computer Vision Annotation Tool). Dit is een open-source programma waarmee afbeeldingen en video's kunnen worden gelabeld voor het trainen van kunstmatige intelligentie (AI). Het werd in 2017 ontwikkeld door ingenieurs van Intel als intern hulpmiddel om sneller en efficiënter trainingsdata voor computer vision-projecten te maken. In 2018 werd CVAT als open-source software op GitHub gepubliceerd, waardoor onderzoekers en bedrijven wereldwijd het konden gebruiken en verbeteren. Het programma ondersteunt onder andere objectdetectie, beeldclassificatie en segmentatie. Door zijn gebruiksvriendelijke interface en uitgebreide functies groeide CVAT uit tot een van de populairste annotatietools voor AI-projecten. In 2022 werd het project ondergebracht in het zelfstandige bedrijf CVAT.ai, dat de verdere ontwikkeling en ondersteuning verzorgt. (CVAT, sd), (ChatGPT, sd)



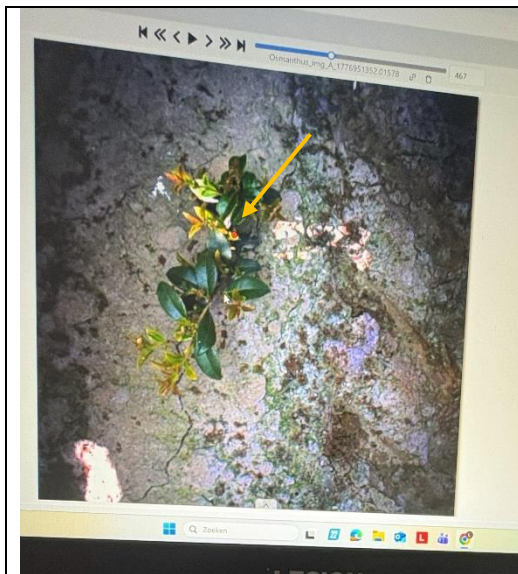
Figuur 103: CVAT-project Tree centers



Figuur 104: CVAT-job Prunus (onderdeel van project Tree centers)

Eerst moest ik een eigen login maken voor het programma en daarna werd ik aan hun project toegevoegd. Dit heette 'tree centers'. Aangezien ze bij ILVO de betalende versie van CVAT gebruiken, kon ik dit werk niet van bij mij thuis uitvoeren. Ik moest op het lokale ILVO-ethernet aangesloten zijn om deel uit te kunnen maken van hun team.

Op Figuur 105 en Figuur 106 kan je zien dat het center wordt gelabeld in de *Osmanthus burkwoodii*. Het was bij elke plant opnieuw zoeken naar het centrale groeipunt, aangezien ze er allemaal zeer verschillend uitzagen. Vooral de *Osmanthus*, *Ilex* en *Phillyrea* waren moeilijk om het center te vinden, bij de *Taxus* en *Prunus* ging dit makkelijker. Ik kon ook niet op elke foto een center aanduiden want vaak stond maar een klein stuk van de plant op beeld, deze foto's werden dan overgeslagen. Gemiddeld konden ongeveer 75% van de foto's worden gelabeld met een center.



Figuur 105: Foto met gelabeld centerpunt

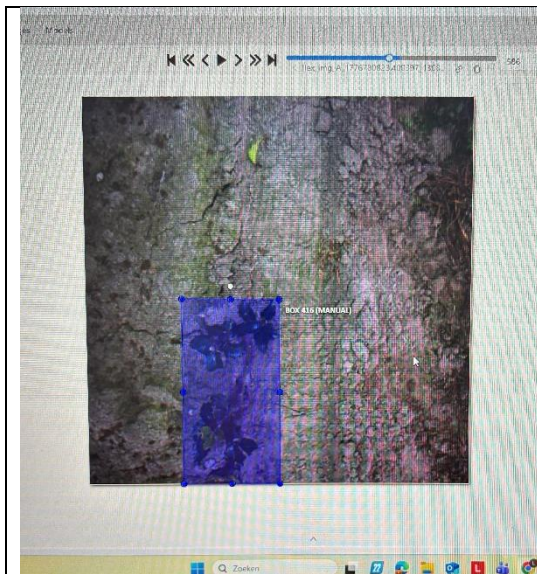


Figuur 106: Ingezoomde foto met gelabeld centerpunt

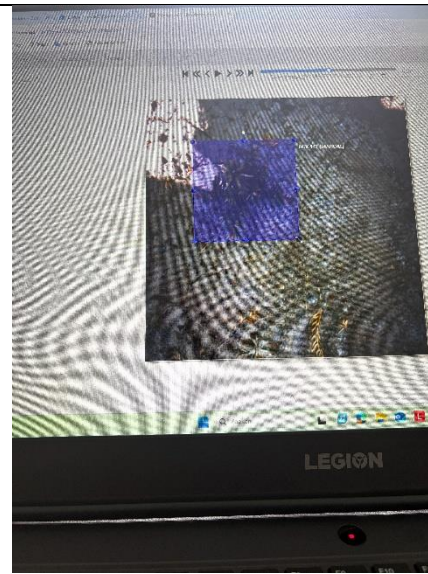
Dit werk ging relatief vlot om uit te voeren, dit kwam door de sneltoetsen die in het programma zaten verwerkt. Met toetsen D en F kon ik naar de vorige of volgende foto en met toets N kon ik een label aanmaken, vervolgens moest ik met de muis op het center klikken en daarna afsluiten door nogmaals op N te klikken. Na een tijdje werd het een vast ritme om deze toetsen in de juiste volgorde in te drukken.

Naast de centerpuntjes moest ik ook van elke plantensoort bij ongeveer 500 foto's een box rond de plant tekenen. Dit gebeurde op dezelfde foto's als die waarop een punt werd gezet. Dit nam veel meer tijd in beslag, voor de 2700 boxen die ik getekend heb, had ik een beetje meer tijd nodig dan bij de 6000 centers die werden gezet. Dit ging dus nog niet half zo snel. Het duurde langer omdat elke box met precisie moest worden uitgetekend en het zeer belangrijk was om enkel de planten erin te zetten. Als de rest van de omgeving er ook telkens nog op stond ging het zeer moeilijk zijn voor het AI-programma om hiermee te trainen en zou het eindresultaat minder goed werken.

De boxen zagen er als volgt uit: Figuur 106, Figuur 107 en Figuur 108



Figuur 107: Box label in Ilex



Figuur 108: Box label in Taxus

Ook hier kon ik de sneltoetsen D, F en N gebruiken maar toch ging het een stuk trager. Het tekenen van de box nam telkens veel tijd in beslag, soms moest ik deze ook nog corrigeren als er te veel omgeving mee in de box zat.

Toen dit allemaal klaar was kon Reinout aan de slag gaan met het trainen van een AI-model. Er wordt gewerkt met een YOLO-model, deze afkorting staat voor You Only Look Once. Dit is een veelgebruikte deep-learningtechniek voor objectherkenning in afbeeldingen en video's. Het bijzondere aan YOLO is dat het een volledige afbeelding in één keer analyseert, waardoor het objecten zeer snel en efficiënt kan detecteren. Dankzij het gebruik van convolutional neural networks (CNN's) kan het systeem niet alleen herkennen welk object aanwezig is, maar ook precies aangeven waar het zich bevindt. Door deze snelheid en nauwkeurigheid wordt YOLO toegepast in uiteenlopende domeinen, zoals autonome voertuigen, beveiligingssystemen, gezichtsherkenning, medische beeldanalyse en mobiele applicaties.

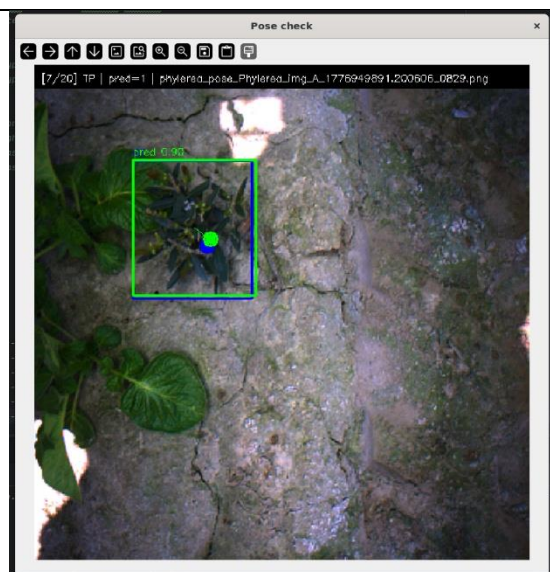
Om een YOLO-model te trainen voor het herkennen van nieuwe objecten, moet eerst een verzameling afbeeldingen worden aangelegd. Vervolgens worden de objecten op deze afbeeldingen geannoteerd, zodat het model weet wat het moet leren herkennen. Deze afbeeldingen en annotaties vormen samen de dataset die gebruikt wordt tijdens de training. Daarna wordt een geschikte YOLO-versie gekozen en wordt het model getraind met de verzamelde gegevens. Na de training wordt het model getest op nieuwe afbeeldingen om de nauwkeurigheid te beoordelen. Indien de resultaten nog niet voldoende zijn, kan het model verder worden verbeterd door extra trainingsdata toe te voegen of instellingen aan te passen. Op deze manier kan een betrouwbaar model worden ontwikkeld dat objecten snel en correct herkent in verschillende situaties. (STIL ICT, sd), (ChatGPT, sd)

Enkele dagen later contacteerde Reinout me om te laten weten dat het AI-model nauwkeurig werkte. Het YOLO-model van ILVO is geprogrammeerd in het bekende platform Python. Er werd 1 model gebouwd voor alle 5 de plantensoorten samen, hiervoor werden dus ongeveer 2700 foto's verwerkt door het AI-programma. Dit waren dus enkel de foto's met een box én een centerpunt, de overige foto's met enkel centerpunt bleven ongebruikt. De werking van het model konden we zien door een deel van de gelabelde foto's door het programma te laten verwerken en vergelijken waar de artificiële intelligentie het centerpunt en de box zou plaatsen tegenover degene die ik heb getekend. Het programma bij sommige foto's verklaarde zelfs een voorspelling met een accuraatheid en zekerheid van 95%. Dit was vrij hoog om van slechts 2700 foto's geleerd te hebben.

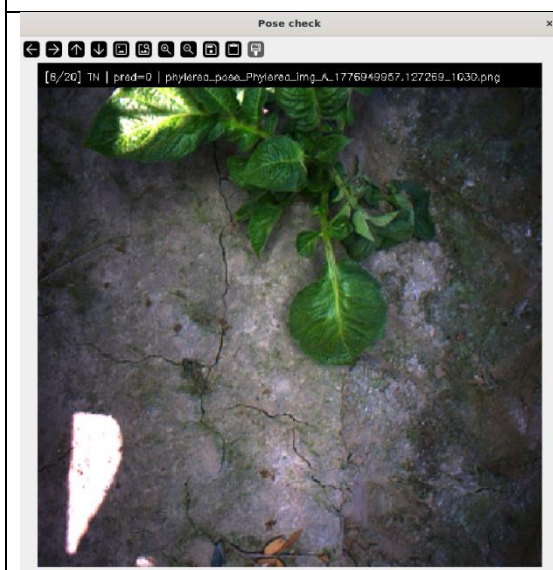
Op Figuur 109 tot Figuur 112 zie je hoe het programma vergelijkt met ons resultaat. De blauwe box en bolletje werden door mij getekend, de groene werden door het model voorspeld.



Figuur 109: Voorspelling in Osmanthus



Figuur 110: Voorspelling in Phyllirea



Figuur 111: Overslaan van aardappelopslag



Figuur 112: Voorspelling in Prunus lusitanica 'Angustifolia'

3.1.5 Klein proefveld aanleggen bij ILVO + eerste testen uitvoeren

Toen het AI-model dus op punt stond gingen we een test uit voeren met de machine. Voordat we de test op het grote veld in Kanegem gingen uitvoeren, werd eerst een kleine test gedaan op de site van ILVO zelf. Daarvoor legde ik bij hen een klein proefveldje aan.

Op het veld in Kanegem trok ik van 4 soorten een 10tal planten uit de grond. Deze nam ik mee naar de site ILVO Agrotechniek & Productkwaliteit en -innovatie. Daar heb ik deze in één rij uitgeplant. Eerst moest het proefveld wel onkruidvrij gemaakt worden. Er werd in de aangeplante rij steeds afgewisseld tussen Prunus, Ilex, Osmanthus en Phillyrea, zo gingen we goed kunnen zien of het AI-model alles goed herkende.

Op Figuur 113 tot Figuur 116 zie je hoe het testveldje werd aangelegd.



Figuur 113: Proefveld met veel onkruid



Figuur 114: Strook onkruidvrij gemaakt



Figuur 115: Bakje planten van thuis om te testen.

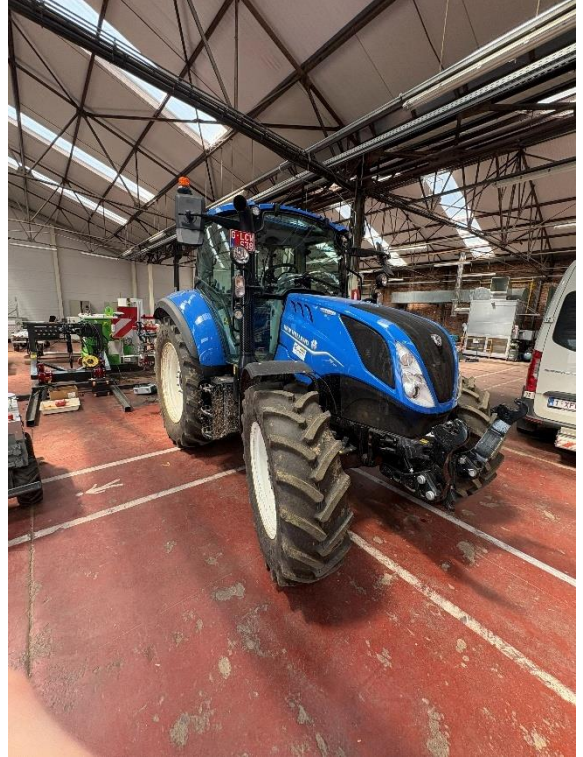


Figuur 116: Rij plantjes aangeplant op testveld

Daarna gingen we binnen de machine afregelen op een testopstelling, alvorens we buiten aan de slag gingen. We dachten dat alles vlot zou verlopen maar we botsten toch op een probleem. Het was de eerste keer dat een test werd uitgevoerd terwijl de schoffelmachine aan een tractor was gekoppeld, vroeger werd ze steeds aangedreven door een vaste testgroep. De tractor waarmee we werkten is een New Holland T5.



Figuur 117: Testgroep van ILVO



Figuur 118: New Holland T5 van ILVO

We merkten tijdens het testen direct op dat het debiet op het circuit van de oliemotoren van de schoffelmessen veel te hoog was. Het was hierdoor onmogelijk om de oliemotor $\frac{1}{4}$ van een omwenteling te laten draaien. Ze draaiden ongecontroleerd minstens $\frac{3}{4}$ van een omwenteling. Dit is nochtans wel nodig voor de goede werking van het systeem want zoals het nu is zouden we heel het gewas kapot schoffelen. De oorzaak van het probleem was dat we het debiet van de tractor niet laag genoeg konden bijregelen. De tractor was uitgerust met mechanische ventielen, als we de smoring verminderden tot stand 1 van de 10 (het kon niet verder dicht) draaiden de motoren nog steeds ongecontroleerd. Toen de machine aan de testgroep was gekoppeld hadden ze dit probleem nog niet ondervonden, aangezien de oliepomp hier veel fijner kon worden afgeregeld. Op de testgroep is de pomp aangedreven door een elektromotor met frequentieregeling.

Om dit probleem op te lossen hadden we 2 mogelijkheden. We konden ofwel de machine uitrusten met grotere oliemotoren. Als we dit zouden doen met motoren die een groter volume nodig hebben per omwenteling, ging het toerental ervan verlagen bij eenzelfde debiet. We konden daarnaast ook een 3 weg stroomregelventiel installeren tussen de tractor en de machine. Op die manier gingen we het debiet dat naar de machine wordt gestuurd precies kunnen bijregelen tot de hoeveelheid die we nodig hebben. De overige olie wordt rechtstreeks naar de retourleiding teruggestuurd.

Uiteindelijk kozen we toch voor de 2^e oplossing omdat deze optie ons meer permanent leek. De huidige OMP 50 motor werd vervangen door een OMR 315. De nieuwe motoren hadden dus 315 cm³ olie nodig om 1 volledige omwenteling te maken, de vorige hadden hiervoor slechts 50 cm³ nodig. Nu zou het dus makkelijker moeten gaan om de motoren voorzichtig aan te sturen. Vroeger was de beperkte oliestroom die nog doorging na de aansturing van het elektroventiel voldoende om nog een halve rotatie te maken met de motor, nu is het slagvolume 6 keer zo groot.

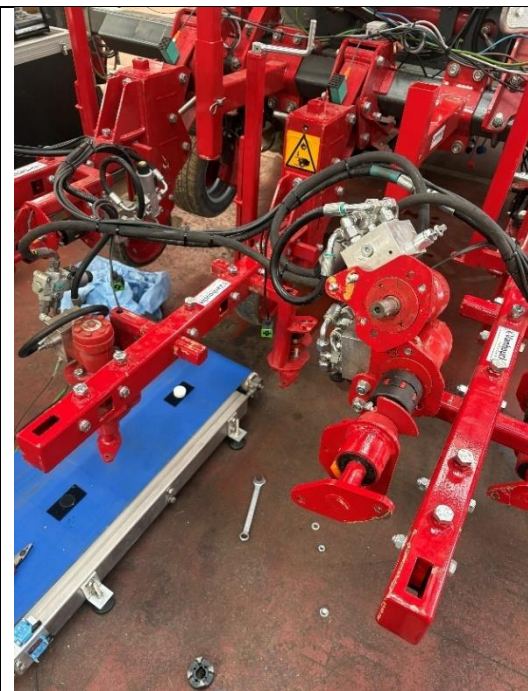
Op Figuur 119 zie je het 3 weg stroomregelventiel die hierboven werd besproken. Er waren snelkoppelingen op gemonteerd zodat we gewoon 'plug and play' tewerk konden gaan. De oliestroom bijregelen kan met de zwarte draaiknop. Op de volgende pagina zie je bij Figuur 120 en Figuur 121 de nieuwe én oude oliemotoren.



Figuur 119: 3 weg stroomregelventiel

*Figuur 120: OMP 50 hydromotor**Figuur 121: OMR x 315 Hydromotor*

Om de motoren te wisselen moest de beugel waarop het lagerhuis van de messenhouder aan bevestigd is eerst worden gedemonteerd. Daarna de klauwkoppeling waarmee de motor de messenhouder aandrijft. Toen deze twee stukken eraf waren kon de motor van het frame worden losgemaakt, daarna werden de leidingen losgekoppeld en werd alles met de nieuwe motor in de omgekeerde volgorde weer gemonteerd. Hierna konden we verder gaan met afregelen.

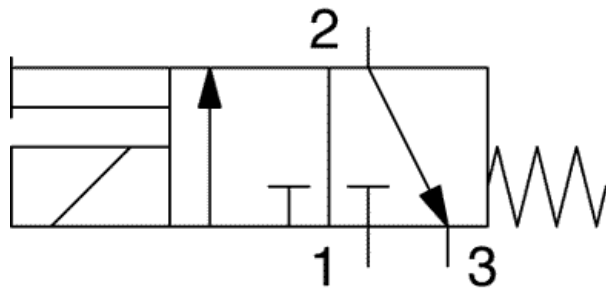
*Figuur 122: Hydromotor los van de machine, om hem te vervangen.*

Aan alle motoren op de machine zijn nog twee andere hydraulische componenten gekoppeld, ook deze werden gedemonteerd en terug bevestigd op de nieuwe motor. Het ene component is een elektrisch geschakeld 3/2 ventielblok. Dit blok heeft dus 3 aansluitingen (P, A en B) en 2 schakelstanden. Het ventiel is te zien op Figuur 123. Aansluiting P is de 'pressure' aansluiting, dit is de ingang van het ventiel. Aansluiting A en B zijn de twee uitgangen. Via kant A gaat de oliestroom rechtstreeks richting de volgende motoren, aan kant B de motor die er mee kan worden aangestuurd. Alle zes de motoren staan in serie geschakeld dus er is altijd een even groot debiet voor alle zes de motoren, onafhankelijk als ze wel of niet worden aangestuurd.

Op Figuur 124 zie je een schematische voorstelling van het ventiel.



Figuur 123: elektro hydraulisch 3/2 ventiel

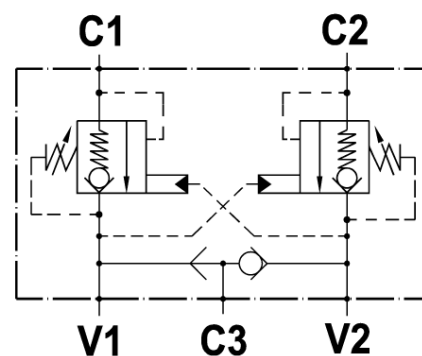


Figuur 124: Schematische voorstelling 3/2 ventiel (Rubocon.nl)

Het tweede component heet een 'dubbele overcenterklep FPO 50', deze dient ervoor om de motor te blokkeren op het moment dat hij niet wordt aangestuurd. Als deze er niet zou zijn, is er een grote kans dat de motor op de momenten dat hij niet wordt aangedreven toch verdraait door de weerstand die het schoffelmes van de grond te verduren krijgt.



Figuur 125: FPO 50 dubbele overcenterklep

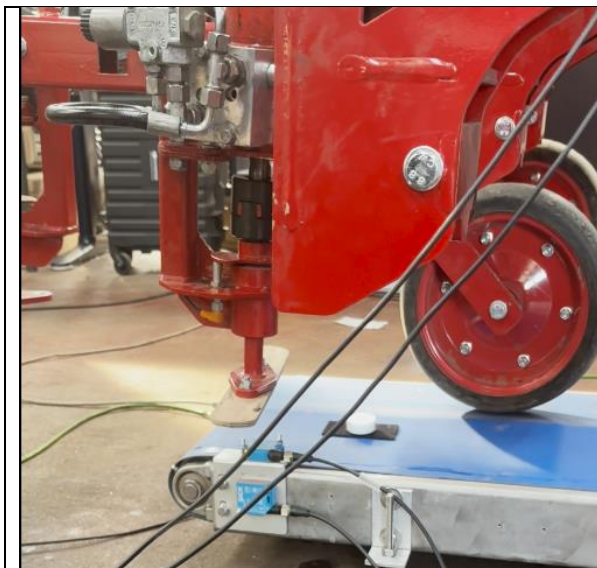


Figuur 126: Schema van FPO 50

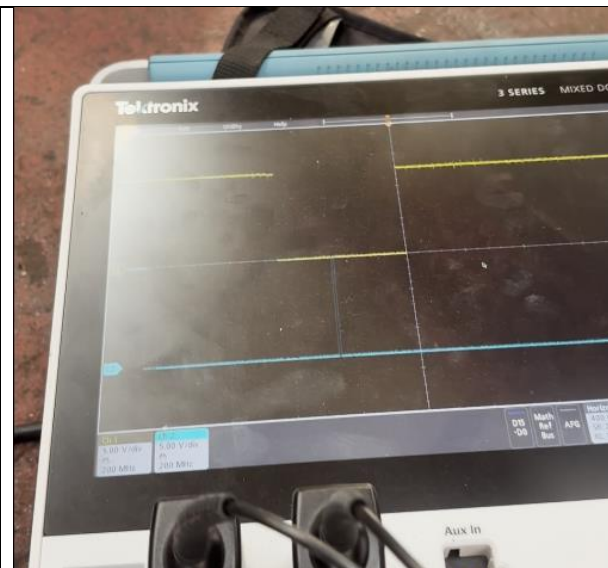
Toen dit allemaal terug was geïnstalleerd probeerden we het nog eens opnieuw aan de testopstelling met de blauwe transportband. Deze keer konden we de motor wel gecontroleerd $\frac{1}{4}$ van een omwenteling per keer laten draaien en verliep alles zoals het moet.

Daarna konden we aan de teststand afregelen hoe veel vertraging er moet zijn tussen het moment van een gewasdetectie en het aansturen van de hydromotor. Dit kan bijgesteld worden op de laptop die aan de machine is gekoppeld. Het tijdsverschil is nodig omdat er een afstand zit tussen de gewasdetectie en de actieve tool. De motor moet dus pas een tijdje na de detectie worden aangestuurd. De afregeling konden we uitvoeren door met een scoop (Figuur 128) 2 signalen te vergelijken. Het eerste signaal werd gemeten met een externe sensor voor het detecteren van een witte bol. We moesten deze infraroodsensor eerst op het transportbandje plaatsen en die vervolgens recht onder de motor positioneren. Elke keer deze sensor een witte bol detecteerde, gaf dit een puls. (Figuur 127)

Door deze puls te synchroniseren met het tweede signaal, die we kregen als de motor werd aangestuurd, konden we dit perfect gaan afregelen. Deze afregeling klopte echter wel enkel met de snelheid die de band simuleerde. Als die snelheid zou wijzigen moet de vertraging dus ook worden bijgesteld.



Figuur 127: Infraroodsensor onder motor gepositioneerd



Figuur 128: Scoopbeeld van de twee signalen.

Nu wisten we zeker dat alles van de machine op punt stond en konden we op het proefveldje gaan testen. We probeerden met de tractor zo recht mogelijk boven de rij te rijden en testten eerst enkel de gewasdetectie. Dit zag er op het eerste zicht veelbelovend uit want op de laptop werd praktisch elke plant herkend, zelfs als ze maar half in beeld stonden.

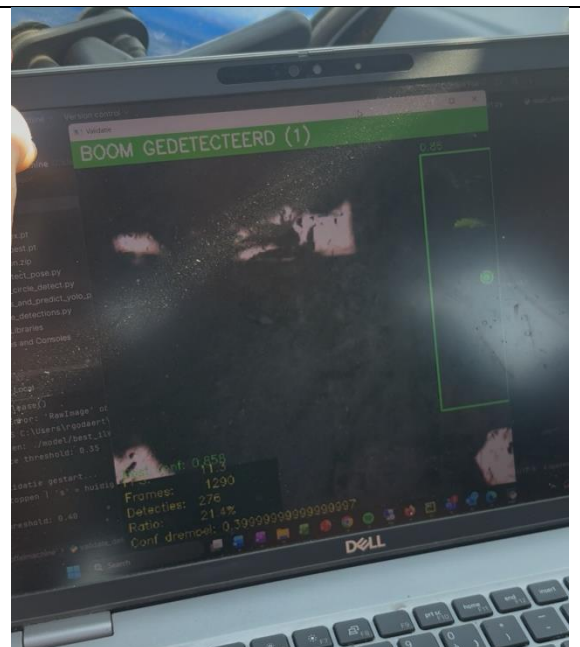
Toen we ook de motoren wilden aansturen viel het resultaat echter een beetje tegen. Er werd maar bij ongeveer een kwart van de planten een beweging gemaakt door de motoren. Dit kwam omdat de frame rate maar op ongeveer 10 frames per seconde stond. Dit was niet genoeg voor het AI-model om de exacte locatie van de planten te bepalen, daardoor werd dus niet vaak een signaal verstuurd om de hydromotor te laten draaien.

Het was na deze test duidelijk dat het programma nog moest aangepast worden om een hogere frame rate te verkrijgen. Daarnaast moesten we ook nog bijregelen aan de vertraging van het signaal, zoals op de pagina hiervoor werd vermeld. Zoals de machine nu maar functioneert was het niet secuur genoeg om al met een schoffelmes te gaan werken.

Figuur 129 en Figuur 130 werden genomen tijdens de test op het proefveld. Ter verduidelijking: deze zijn niet op hetzelfde moment gemaakt.



Figuur 129: Machine die een plant zou kapot schoffelen wegens slechte detectie



Figuur 130: Geslaagde plantdetectie

We concludeerden uit deze tussentijdse test dat er werk aan de winkel was maar konden hierna wel al uitzien naar een test op het veld in Kanegem. Vóór die test zou Reinout nog het programma aanpassen zodat het beter zou functioneren.

3.1.6 Uiteindelijke proef op het grote veld te Kanegem

Enkele dagen na de proefveldtest ging de finale proef in Kanegem door. Hiervoor moest ik opnieuw met de tractor de schoffelmachine gaan ophalen bij ILVO. Bij de proef waren Reinout Godaert, Maarten Vanhoucke en begeleider Geert Chys ook aanwezig. Het plan was ditmaal om de schoffelmessen effectief aan de machine te bevestigen en te tellen hoeveel onkruiden er effectief werden verwijderd. Dit konden we natuurlijk niet direct doen aangezien er nog een groot risico was dat we planten zouden beschadigen of uitschoffelen. Voor de zekerheid probeerden we het eerst zonder messen.

Aangezien de planten sinds de datacaptatie al veel zijn gegroeid en het kleur van de bladeren sterk is veranderd, wisten we ook niet zeker of onze detectie 100% goed zou zijn. Ook dit vergrootte het risico op gewasschade.

Daarnaast zaten we ook nog steeds met het probleem dat de machine was gebouwd voor een 3 rijige teelt, maar de planten slechts per 2 rijen stonden. Daarom hebben we besloten om enkel met de middelste rij te werken, hiervoor schoven we de side shift volledig naar links. De andere (buitenste) elementen werden met spanriemen omhooggehouden, Zo zouden we een hoge bodemvrijheid hebben en zeker geen schade aanrichten aan het gewas. Ook de motoren van de ongebruikte elementen werden weer horizontaal geplaatst. Het middelste element, dat we gebruikten, werd op de schoffelbalk ook 7cm naar links verschoven zodat het deze keer perfect boven de rij was gepositioneerd.

Op Figuur 131 kan je zien hoe de machine er op dat moment uitzag.



Figuur 131: Machine tijdens de laatste test

Het AI-programma werd sinds de proefveldtest ook licht gewijzigd door Reinout, hierdoor werd de computer minder belast en konden we een frame rate van ongeveer 22 frames per seconde bereiken. Ook de zekerheid van de detectie was iets groter. De combinatie van deze 2 factoren betekende een enorme vooruitgang voor de gewasdetectie.

We hebben bij deze proef enkel getest in allebei de Prunus soorten en in Phillyrea. De reden hiervoor was dat de Osmanthus en Ilex te veel verkleurd waren sinds de datacaptatie. In de Taxus hebben we niet gewerkt omdat we hiervan geen planten hebben geplaatst op het proefveld, en deze dus ook niet werden mee verwerkt in het nieuwe programma.

De rijnsnelheid die we gebruikten tijdens de test bedroeg 0,65 km/u, dit is heel traag maar op die manier hadden we wel een goede detectie en konden we de vertraging relatief fijn afregelen voor deze snelheid.

Uiteindelijk konden we het jammer genoeg toch niet perfect afregelen en hebben we niet gedurfd om de messen te monteren. Er werd nog te regelmatig een plant overgeslagen, waardoor we te veel gewasschade zouden veroorzaakt hebben. Dit ging bijgevolg ook financiële schade met zich meebrengen.

Figuur 132 en Figuur 133 zijn gemaakt tijdens de test.



Figuur 132: Correct moment terugkeren van het mes in de rij



Figuur 133: Geslaagde plantdetectie

4 Resultaten

Als resultaat van de proef was het eerste plan om te testen hoeveel % van de onkruiden er worden verwijderd door verschillende types van schoffelmessen die compatibel zijn met de machine. Jammer genoeg stond het systeem nog niet helemaal op punt waardoor we nooit met de schoffelmessen hebben gewerkt. Deze test zou gegarandeerd te veel schade aan het gewas aangericht hebben. Daarom hebben we het beperkt tot het functioneren van de gewasherkenning, dit was namelijk ook het meest tijdrovende stuk van de hele praktische uitvoering van deze bachelorproef.

De artificiële intelligentie waarmee de machine is uitgerust, was op het moment van de proef geschikt om in 4 van de plantensoorten te werken. Uiteindelijk gingen we enkel aan de slag in de Phillyrea en Prunus omdat de andere soorten te veel veranderd waren sinds de captatie.

We hebben van beide soorten over enkele rijen gereden, hiervan heb ik op willekeurige momenten filmpjes gemaakt, onder gelijke omstandigheden. Ik vergelijk van 72 planten van de soort Prunus en Phillyrea hoe vaak ze gedetecteerd werden. De ruwe data die hieruit te meten viel, ziet er als volgt uit (Tabel 1 tot Tabel 3)

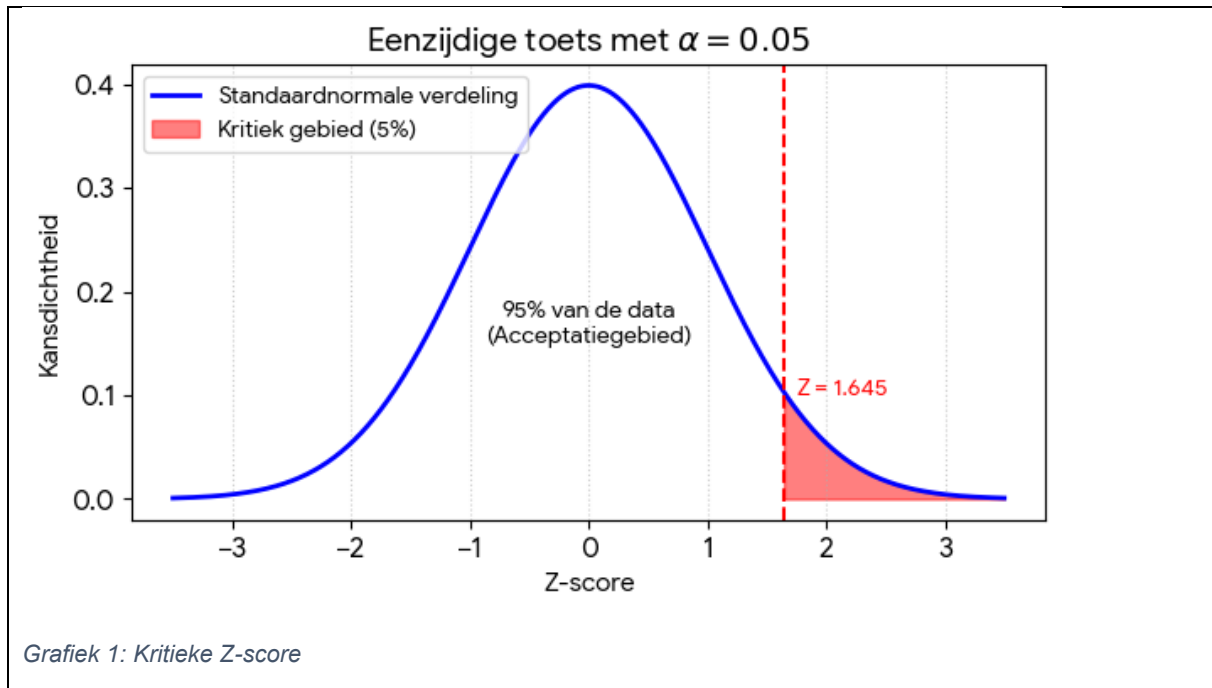
Tabel 1: Ruwe data deel 1					Tabel 2: Ruwe data deel 2					Tabel 3: Ruwe data deel 3				
	A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D
1					26	21	0	1		51	46	1	1	
2		Geslaagde herkenning = 1			27	22	1	0		52	47	1	1	
3		Gefaalde herkenning = 0			28	23	1	1		53	48	1	1	
4					29	24	1	1		54	49	1	1	
5	plant nr	Prunus	Phillyrea		30	25	1	1		55	50	1	0	
6	1	1	0		31	26	1	1		56	51	1	1	
7	2	1	0		32	27	1	1		57	52	1	0	
8	3	1	1		33	28	1	0		58	53	1	0	
9	4	1	1		34	29	1	0		59	54	1	1	
10	5	1	1		35	30	1	1		60	55	1	0	
11	6	1	0		36	31	1	1		61	56	1	1	
12	7	1	0		37	32	1	1		62	57	1	0	
13	8	1	0		38	33	1	1		63	58	1	1	
14	9	1	1		39	34	1	0		64	59	0	1	
15	10	1	1		40	35	1	1		65	60	1	1	
16	11	1	0		41	36	1	1		66	61	1	1	
17	12	1	1		42	37	1	0		67	62	1	1	
18	13	1	0		43	38	1	1		68	63	1	1	
19	14	1	0		44	39	1	0		69	64	0	1	
20	15	1	1		45	40	1	1		70	65	1	1	
21	16	1	0		46	41	1	1		71	66	0	1	
22	17	1	1		47	42	1	1		72	67	1	1	
23	18	1	0		48	43	1	1		73	68	1	1	
24	19	1	1		49	44	1	0		74	69	1	1	
25	20	1	1		50	45	1	1		75	70	1	0	
26	21	0	1		51	46	1	1		76	71	1	0	
										77	72	1	0	

Deze data kan worden samengevat tot de gegevens in Tabel 4:

Tabel 4: Samenvatting van Ruwe Data			
	Prunus	Phillyrea	Totaal
Aantal keer geslaagd	68	47	115
Aantal keer fout	4	25	29
Totaal gemeten waardes	72	72	144

Om deze data statisch te verwerken kan een 'proportietoets voor twee onafhankelijke proporties' worden uitgevoerd. Aan de hand van het resultaat van deze toets weet je of het verschil tussen beide resultaten significant is of niet. Anders is het zuiver toeval dat de resultaten van elkaar afwijken. Hiervoor wordt eerst een Z toets opgesteld. Om de toets uit te voeren, werken we met een significantieniveau van 5%

De kritieke Z waarde die we daar uit verkrijgen is 1,645. Dit is af te lezen in Grafiek 1.



Er werd een nulhypothese en een alternatieve hypothese opgesteld.

Nulhypothese: $P_{\text{prunus}} = P_{\text{phillyrea}}$
 Alternatief: $P_{\text{prunus}} \neq P_{\text{phillyrea}}$

Daarna werden de proporties/herkingspercentages berekend.

$P_{\text{prunus}} = 68/72 = 94,4\%$

$P_{\text{phillyrea}} = 47/72 = 65,3\%$

De gemiddelde proportie is $= 115/144 = 79,9\%$

Met al deze waardes wordt een Z waarde berekend aan de hand van volgende formule:

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\bar{p}(1 - \bar{p}) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Resultaat: $Z = 4,36$

Dit resultaat is groter dan de kritieke Z score van 1,645. Hierdoor kunnen we de Nulhypothese verwerpen en concluderen dat het geen toeval is dat er meer Prunus werden herkend dan Phillyrea.

5 Discussie en algemeen besluit

5.1 Discussie resultaten en werkpunten

We merkten direct op tijdens de finale test dat het systeem veel beter functioneerde in Prunus dan in Phillyrea. De statische dataverwerking bevestigt dit nu ook. De oorzaak hiervan was volgens ons dat bij de Phillyrea de planten hun bladkleur en vorm sterk gewijzigd is sinds de dag van de datacaptatie. De machine was dus getraind om een andere kleur te herkennen, waardoor ze niet alles correct detecteerde.

Om de plantenherkenning te optimaliseren zouden tijdens een groeiseizoen (maart tot september) minstens 5 datasets moeten opgemaakt worden. Hiervoor hadden we tijdens de periode waarin de proef verliep geen tijd, aangezien de proef maar later op het academiejaar deze wending kreeg. Als het systeem in de toekomst op de markt zou gebracht worden, is dit wel een interessante mogelijkheid.

Daarnaast ondervonden we ook in beide soorten dat de actieve tool niet altijd op het juiste moment een draaibeweging maakte. Het was soms te vroeg en soms te laat. Hiervan kan helaas geen statistiek worden gemaakt omdat op de beelden die hiervan zijn gemaakt niet zien is wat de ingestelde vertraging was op dat moment. Deze hebben we tijdens de test vaak gewijzigd om de machine af zo correct mogelijk af te regelen.

Om die afregeling te verfijnen zou er nog een aanpassing moeten gebeuren aan de machine, het zou beter zijn als er aan 1 van de wielen een pulsgever wordt toegevoegd. Dan is het mogelijk om heel precies te meten hoe ver de machine zich heeft verplaatst sinds de herkenning van een plant en kan de vertraging zo bij elke plant automatisch perfect worden bijgesteld. Als deze geïnstalleerd is, maakt het ook niet meer uit met welke rijsnelheid er wordt gewerkt aangezien die dan voor de machine gekend zou zijn, wat nu niet het geval is.

Er moet wel worden opgelet dat we bij een te hoge rijsnelheid nog steeds een goede gewasdetectie kunnen realiseren. De frame rate van de camera zou nog iets moeten verhogen om de rijsnelheid op een veilige manier te versnellen. Ook de capaciteit van de computer op de machine zal daarvoor waarschijnlijk moeten verzwaken.

Daarnaast kwamen we ook tot de conclusie dat de positie van de camera best wordt verhoogd om tewerk te gaan in de sierteelt. In de groentesector is het geen probleem dat de camera iets lager wordt gepositioneerd aangezien deze niet zo hoog uitgroeien. Indien dit wel het geval is, is de onkruiddruk op het moment van dat gewasstadium ook al sterk verminderd.

Het lijkt ook interessant om de actieve tool hoger te monteren en de as die het mes aandrijft vervolgens te verlengen, om terug tot bij de grond te komen. Dan zou het er een beetje gaan uitzien als een staafmixer. Als dit zo gemaakt zou zijn komt enorm veel plaats bij tussen de rijen, waardoor de rijafstand zelfs nog smaller kan worden gemaakt. De twee hydraulische componenten die op de hydromotoren van de actieve tool zijn bevestigd zullen in de toekomst normaalgezien ook worden samengevoegd tot 1 stuk. Hierdoor zal alles ook veel minder plaats innemen.

Daar bovenop ligt ook het plan op tafel om eventueel de schoffelelementen te verplaatsen zodat ze tussen de rijen hangen, dan zou de bevestiging van de actieve tool natuurlijk wel moeten worden aangepast. Ook die aanpassing zorgt ervoor dat er een hogere bodemvrijheid zal zijn.

Met de testen hebben we ondervonden dat de basis van de machine er heel veelbelovend uit ziet, maar dat er voor enkele details nog werk aan de winkel is. Dit is natuurlijk onderdeel van een nieuwe ontwikkeling

5.2 Besluit bachelorproef

We kunnen besluiten met de gedane proef dat de basis van het systeem al een goede werking heeft maar dat er nog veel ruimte is voor verbetering. Het is logisch dat het systeem nog niet op punt staan aangezien dit de nog maar de eerste test was met een prototype. De meeste werkpunten die nog aan de machine moeten worden gewijzigd zijn mede door de uitvoering van de proef aan het licht gekomen. Het was interessant om er eens te kunnen bij zijn tijdens de ontwikkeling van een nieuwe machine.

De bachelorproef was een tijdsintensieve klus aangezien er enorm veel tijd nodig was om de datacaptaties uit te voeren. Er moest ook vaak worden heen en weer gereden, zowel door de mensen van ILVO en Vanhoucke als door mij. Uiteindelijk zijn we niet tot een echte test gekomen waar de machine fysiek in de grond ging schoffelen, maar hierdoor ben ik zeker niet teleurgesteld. Ik heb zowel in de praktijk als met de literatuurstudie veel bijgeleerd.

Ik vond het een leuke uitdaging om zelf te kunnen meehelpen aan het ontwikkelen van de dataset voor de gewasherkenning. Soortgelijke technieken zullen volgens mij alsmaar meer gebruikt worden binnen de landbouwsector, dus ik ben blij voor de toekomst dat ik hier reeds een basiskennis heb verworven.

Ook met de literatuurstudie heb ik veel kennis kunnen opdoen, veel machines en technieken die er in zijn verwerkt had ik voorhand geen tot weinig kennis van en spontaan zou ik dit niet zo actief hebben onderzocht. Met de hoge druk op toelatingen van verschillende gewasbeschermingsmiddelen vind ik het een meerwaarde dat ik veel onderzoek heb gedaan over alternatieve manieren van onkruidbestrijding.

6 Publiceerbaar artikel

Sterke vooruitgang geboekt voor mechanische onkruidbestrijding in de rijen bij vollegrond sierteelt!

Vanhoucke Machine Engineering en ILVO hebben samen een veelbelovend prototype ontwikkeld van een schoffelmachine om specifiek in de gewasrijen te kunnen werken. Waar anderen moeilijkheden zien, zagen zij een opportuniteit om zich van de rest te onderscheiden. Op basis van speciaal getrainde, zelf ontwikkelde, artificiële intelligentie zijn ze in staat om met een camerasysteem planten van onkruid te onderscheiden.



*Figuur 134: Foto van de machine tijdens een voorstelling op Agribex 2025
bron: (ILVO, sd)*

Upgrade van bestaande machine

De machine die ze hebben ontwikkeld is gebaseerd op een bestaand model van Vanhoucke Machine Engineering. De zogenaamde Focas Heavy werd geüpgraded met een belicht camerasysteem en een bewegende tool. Het camerasysteem zorgt met de hulp van artificiële intelligentie voor een live herkenning van het gewas. Met deze informatie zijn ze in staat om op het juiste moment een bewegend schoffelmes die zich in de gewasrij bevindt rond de planten te laten draaien. Zo wordt het onkruid in de rij met precisie bestreden zonder enige schade aan het gewas.

Eigen ontwikkelde AI-technologie

Vanhoucke zorgt voor de hardware van de machine, terwijl ILVO zich voornamelijk op de gewasherkenning toelegt. Er werd een dataset gemaakt van duizenden foto's die allerlei soorten uit de sierplanten bevatten, zoals *Prunus lusitanica* en *Osmanthus burkwoodii*. Met al deze gegevens had de door ILVO geprogrammeerde artificiële intelligentie ruim voldoende data om zich te trainen om deze plantensoorten te herkennen. Er zijn daarnaast nog andere datasets gemaakt om in kolen en broccoli te kunnen werken.

Meer klantgerichtheid dan de concurrentie

Ze kunnen zich van concurrenten onderscheiden omdat hun machine kan worden uitgerust om de actieve tool tussen de rijen te monteren. Bij hun concurrenten die een in-rij systeem aanbieden hangt deze vrijwel altijd boven het gewas waardoor bij grotere groeistadia niet meer kan worden gebruikt. Dit toont aan dat ze meedenken met de noden van hun potentiële klanten.

Creatieve innovatie

De techniek die wordt gebruikt is tot stand gekomen door standaardcomponenten samen te voegen. Al deze onderdelen hebben op zich nog tal van andere toepassingen, waardoor ze in bulk worden geproduceerd en dus een acceptabel prijskaartje hebben. Ze zijn er dus door middel van hun creativiteit in geslaagd om iets moeilijk, nieuw, uit te vinden met voor de hand liggende materialen.

Nog in testfase

De machine staat nog niet op punt maar de eerste testen zager er wel al veelbelovend uit. De werkpuntjes zijn dus reeds gevonden. Enkele toevoegingen en aanpassingen aan de hardware van de machine zijn nog nodig, maar het principe en de logica erachter werken wel al goed. In de nabije toekomst zullen nog veel extra datasets worden gemaakt en nog tal van testen worden uitgevoerd. Wanneer de machine op de markt wordt gebracht, wordt voorlopig nog niet bekend gemaakt.

7 Bijlagen

plant nr	Prunus	Phillyrea		Prunus	Phillyrea	Totaal			
1	1	0	Aantal keer geslaagd	68	47	115			
2	1	0	Aantal keer fout	4	25	29			
3	1	1	Totaal gemeten waardes	72	72	144			
4	1	1							
5	1	1	Slagingingspercentage Prunus	94,4%					
6	1	0	Slagingingspercentage Phillyrea	65,3%					
7	1	0							
8	1	0							
9	1	1	$\alpha = 0,05$						
10	1	1	Z kritiek = 1,645						
11	1	0							
12	1	1	Nulhypothese:	Pprunus = Pphillyrea					
13	1	0	Alternatief	Pprunus is niet gelijk aan Pphillyrea					
14	1	0							
15	1	1							
16	1	0	Gemiddelde P berekening	79,9%					
17	1	1							
18	1	0	Z berekening:	4,363677					
19	1	1							
20	1	1							
21	0	1	Resultaat:	4,36 > 1,645					
22	1	0							
23	1	1	Nulhypothese verwerpen : Het is dus geen toeval dat Prunus beter wordt herkend dan Phillyrea						
24	1	1							

Bijlage 1: Statistiek in Excel

Lijst met figuren

Figuur 1: onkruid dat in de rij blijft staan na het schoffelen in Taxus (Devolder).....	7
Figuur 2: Foto van de huidige schoffelmachine.....	8
Figuur 3: Foto van de huidige tools op onze machine.....	8
Figuur 4: Weeddelete ZRS aan het werk Van Tuijl Innovations, sd).....	10
Figuur 5: Foto van Weeddelete ZRS (Van Tuijl Innovations, sd).....	10
Figuur 6: Einböck In-Row-schoffelmachine ((Einböck In Row Schoffeltechniek, sd).....	11
Figuur 7: De K.U.L.T Kress iSelect aan het werk in saladeK.U.L.T, sd).....	12
Figuur 8: K.U.L.T Kress i Select in opklapbare uitvoering voor 3 bedden. (Agriexpo, sd).....	12
Figuur 9: Samo Variochop AI met 6 elementen (Samo, sd).....	13
Figuur 10: Ingezoomd beeld van de sikkelvormige messen rond het gewas (Lemken, sd)...	15
Figuur 11: Verduidelijking van de camera's en de bijhorende ledlampen (Lemken, sd).....	15
Figuur 12: De compressor en zijn toebehoren (Lemken, sd).....	15
Figuur 13: Detailbeeld van het schoffelelement, de C1 uitvoering mét drukontlasting (Lemken, sd).....	15
Figuur 14: Demonstratie van de roterende schoffelbladen van de Garford Robocrop inrow (Garford, sd).....	16
Figuur 15: Kunstmatige voorstelling van de machine die aan het werk is (Garford, sd).....	16
Figuur 16: 3 rijige Drimac ZIP (Drimac, sd).....	17
Figuur 17: Schoffelmes die in de rij gaat (Drimac, sd).....	17
Figuur 18: 4 rijige machine in actie (Drimac, sd).....	17
Figuur 19: Dubbel roterend schoffelelement Ferrari Growtech, sd).....	18
Figuur 20: De tractor aangedreven variant van de machine Ferrari Growtech, sd).....	18
Figuur 21: Ingezoomd beeld van alle 4 de rijen die worden geschoffeld Ferrari Growtech, sd)	18
Figuur 22: PhotoHeyler in rij systeem met zero point engagement (Photoheyler, sd).....	19
Figuur 23: AI-gewasdetectie van PhotoHeyler (Photoheyler, sd).....	19
Figuur 24: Globus Reflexschoffel (Ezendam, sd).....	20
Figuur 25: Foto van het hydromotor mechanisme tijdens de voorstelling van hun prototype op Agribex 2025 (ILVO, sd).....	21
Figuur 26: Foto van het prototype (Devolder).....	22
Figuur 27: A messen (Vanhoucke, sd) Op deze foto zie je een A vorm schoffelmes (ook wel V vorm genaamd).....	23
Figuur 28: L messen (Schoffelonderdelen.nl, sd) Hier staat en L mes afgebeeld, door het onderste sleufgat in het mes kan je het van hoek verstellen, wat een groot verschil maakt in de agressiviteit van de werking.	23
Figuur 29: Slash (Vanhoucke, sd) Slash vorm schoffelmes.....	24
Figuur 30: Vibro messenhouder (Schoffelonderdelen.nl, sd) Vibrerende messenhouder, gelijke werking triltandcultivator.....	24
Figuur 31: Rubber Vingerwieder met 1 PU schijf (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	25
Figuur 32: metalen vingerwieders (Subito, sd).....	25
Figuur 33: In hoek verstelbare vingerwieder met aparte rubber vingers (Vanhoucke, sd).....	26
Figuur 34: Apart gemonteerde vingerwieders (Einböck Chopstar, sd).....	26
Figuur 35: Clemens SB Compact met rolhaken (Damcon, sd).....	26
Figuur 36: wiedege van 12 meter breed (Van Hattum, 2023).....	27
Figuur 37: wiedege element (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	27
Figuur 38: wiedege tand (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	27
Figuur 39: Torsiewieders boven de rij (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	28
Figuur 40: Torsiewieder naast de rij (Vanhoucke machine engineering, sd).....	28
Figuur 41: vaste tand met beitel (Vanhoucke machine engineering, sd).....	29
Figuur 42: Triltand van zaaibedbereider (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	29
Figuur 43: Verstelbare verkruijmelrol (Schoffelonderdelen.nl, sd).....	30
Figuur 44: Dronefoto van de Andela ARW 912 (Eissens).....	31

Figuur 45: Delta-arm die onkruid opzoekt en met verwarmingselement afdoodt (Stallen, 2022)	32
Figuur 46: Onkruid die is afgedood door hoge temperatuur (Stallen, 2022)	32
Figuur 47: Grijpmechanisme van Odd Bot Maverick (Odd Bot, sd)	32
Figuur 48: Odd bot Maverick (Odd Bot, sd)	32
Figuur 49: AI-gewasherkenning van Odd Bot (Odd Bot, sd)	33
Figuur 50: Carbon Robotics Laserweeder G2 van Adrie Van Den Einden (Roek)	34
Figuur 51: PhotoHeyler Jedimaster (Maskinblad, sd)	35
Figuur 52: Escarda Laserweeder (Van Erkelens, 2025)	35
Figuur 53: Foto van werking elektrofysische onkruidbestrijding (Verschueren, sd)	37
Figuur 54: Agxtend XPR (Matériel Agricole, sd)	37
Figuur 55: Andela elektro weeder (Andela)	37
Figuur 56: Zasso XPA Krinkels (Krinkels, sd)	38
Figuur 57: Elektrische bestrijding Japanse duizendknoop (Exotenwacht)	38
Figuur 58: Nucrop elektrische loofdoding (Nucrop)	39
Figuur 59: Nucrop elektrische loofdoding (Le Sillon Belge)	39
Figuur 60: Handmatige onkruidbrander (Tuinplaats, sd)	40
Figuur 61: Vanhoucke Tryfon Light onkruidbrander (Vanhoucke machine engineering, sd)	40
Figuur 62: Bosgoed aangeplant in april 2026 (Devolder)	41
Figuur 63: Bosgoed aangeplant in april 2025 (Devolder)	41
Figuur 64: Phillyrea waarin wordt geschoffeld (Devolder)	42
Figuur 65: Verder ontwikkelde Phillyrea angustifolia (Devolder)	42
Figuur 66: Kleine Prunus lusitanica 'Angustifolia' (Devolder)	43
Figuur 67: Kleine Prunus lusitanica (Devolder)	43
Figuur 68: Middelgrote Prunus lusitanica 'Angustifolia' (Devolder)	43
Figuur 69: Middelgrote Prunus lusitanica (Devolder)	43
Figuur 70: Kleine Ilex	44
Figuur 71: Middelgrote Ilex	44
Figuur 72: Kleine Osmanthus x burkwoodii (Devolder)	45
Figuur 73: Middelgrote Osmanthus x burkwoodii (Devolder)	45
Figuur 74: Kleine Osmanthus heterophyllus (Devolder)	45
Figuur 75: Middelgrote Osmanthus heterophyllus (Devolder)	45
Figuur 76: Kleine Taxus baccata	46
Figuur 77: Middelgrote Taxus baccata	46
Figuur 78: Foto van het proefveld (Devolder)	47
Figuur 79: 1ste jaar Taxus baccata	49
Figuur 80: 1ste jaar Osmanthus burkwoodii	49
Figuur 81: 1ste jaar Prunus lusitanica 'Angustifolia'	49
Figuur 82: 2e jaar Taxus baccata	49
Figuur 83: 2e jaar Osmanthus burkwoodii	49
Figuur 84: 2e jaar Prunus lusitanica 'Angustifolia'	49
Figuur 85: DJI Phantom 3 SE Drone	50
Figuur 86: Label volgens soort	50
Figuur 87: Label volgens soort	50
Figuur 88: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'	50
Figuur 89: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'	50
Figuur 90: Voorbeeldfoto Prunus lusitanica 'Angustifolia'	50
Figuur 91: Route Kanegem-ILVO zonder snelwegen (maps, sd)	51
Figuur 92: Met de tractor bij ILVO	51
Figuur 93: Camerasysteem met bijhorende belichting	51
Figuur 94: Schoffel niet mooi in rij	52
Figuur 95: Schoffelelementen verhoogd	52
Figuur 96: Schoffelelementen net niet perfect boven de rij	52
Figuur 97: Foto met slechte belichting	53
Figuur 98: Foto tijdens capteren	53

Figuur 99: Werken aan de machine	53
Figuur 100: Foto met betere belichting.....	53
Figuur 101: Foto tijdens capteren.....	53
Figuur 102: Foto tijdens capteren.....	53
Figuur 103: CVAT-project Tree centers	54
Figuur 104: CVAT-job Prunus (onderdeel van project Tree centers)	54
Figuur 105: Foto met gelabeld centerpunt	55
Figuur 106: Ingezoomde foto met gelabeld centerpunt.....	55
Figuur 107: Box label in Ilex	56
Figuur 108: Box label in Taxus	56
Figuur 109: Voorspelling in Osmanthus	57
Figuur 110: Voorspelling in Phillyrea.....	57
Figuur 111: Overslaan van aardappelopslag	57
Figuur 112: Voorspelling in Prunus lusitanica 'Angustifolia'	57
Figuur 113: Proefveld met veel onkruid.....	58
Figuur 114: Strook onkruidvrij gemaakt.....	58
Figuur 115: Bakje planten van thuis om te testen.	58
Figuur 116: Rij plantjes aangeplant op testveld	58
Figuur 117: Testgroep van ILVO	59
Figuur 118: New Holland T5 van ILVO.....	59
Figuur 119: 3 weg stroomregelventiel	60
Figuur 120: OMP 50 hydromotor.....	61
Figuur 121: OMR x 315 Hydromotor	61
Figuur 122: Hydromotor los van de machine, om hem te vervangen.....	61
Figuur 123: elektro hydraulisch 3/2 ventiel.....	62
Figuur 124: Schematische voorstelling 3/2 ventiel (Rubocon.nl)	62
Figuur 125: FPO 50 dubbele overcenterklep	62
Figuur 126: Schema van FPO 50	62
Figuur 127: Infraroodsensor onder motor gepositioneerd	63
Figuur 128: Scoopbeeld van de twee signalen.	63
Figuur 129: Machine die een plant zou kapot schoffelen wegens slechte detectie.....	64
Figuur 130: Geslaagde plantdetectie	64
Figuur 131: Machine tijdens de laatste test.....	65
Figuur 132: Correct moment terugkeren van het mes in de rij.....	66
Figuur 133: Geslaagde plantdetectie	66
Figuur 134: Foto van de machine tijdens een voorstelling op Agribex 2025 bron: (ILVO, sd) .I	

Lijst met tabellen

Tabel 1: Ruwe data deel 1	67
Tabel 2: Ruwe data deel 2	67
Tabel 3: Ruwe data deel 3	67
Tabel 4: Samenvatting van Ruwe Data	67

Lijst met grafieken

Grafiek 1: Kritieke Z-score.....	68
----------------------------------	----

Bronvermelding

8 Bibliografie

- Agriexpo. (sd). Opgehaald van <https://www.agriexpo.online/prod/kult-kress-umweltschonende-landtechnik-gmbh/product-169443-139692.html>
- Andela. (sd).
- Benegas. (sd). *Alles over onkruidbranders op gas!* Opgehaald van Benegas: <https://benegas.com/blog/alles-over-onkruidbranders-op-gas/>
- Carbon Robotics. (sd). *Carbon AI*. Opgehaald van Carbon Robotics: <https://carbonrobotics.com/carbon-ai>
- ChatGPT. (sd). *ChatGPT*. Opgehaald van ChatGPT: <https://chatgpt.com/>
- Claver, H. (sd). *Nufarm and crop.zone launch Hybrid Electric Crop Protection*. Opgehaald van Future Farming: <https://www.futurefarming.com/crop-solutions/nufarm-and-crop-zone-launch-hybrid-electric-crop-protection/>
- CVAT. (sd). *CVAT.ai about us*. Opgehaald van CVAT.ai: <https://www.cvat.ai/about>
- Damcon. (sd). *Clemens Schoffelmachines*. Opgehaald van Damcon.nl: <https://www.damcon.nl/machine/clemens-radius-zwenkschoffel/>
- Devolder, L. (sd).
- Drimac. (sd). *Drimac ZIP*. Opgehaald van Drimac: <https://www.drimac.it/en/project-2/>
- e. (sd).
- Einböck Chopstar. (sd). Opgehaald van <https://www.einboeck.at/nl/news/vingerwieder-vs-roterende-wiedeg/>
- Einböck In Row Schoffeltechniek. (sd). Opgehaald van Eiböck: <https://www.einboeck.at/nl/produkte/in-row-schoffeltechniek/invera/>
- Eissens, K. (sd).
- Escarda. (sd). *Escarda helpt je meer uit je oogst te halen*. Opgehaald van Homburg: <https://www.homburg-holland.com/nl/escarda/>
- Exotenwacht. (sd).
- Ezendam, B. (sd). *GlobusRFX reflexschoffel02*. Opgehaald van Globusmachines: <https://globusmachines.nl/machines/globus-rfx02-reflexschoffel/>
- Ferrari Growtech. (sd). *Ferrari Twistweed*. Opgehaald van Ferrari Growtech: <https://ferrarigrowtech.com/en/automated-weeders/177-remoweed.html>
- Garford. (sd). *Garford Robocrop in row*. Opgehaald van Garford.com: <https://garford.com/wp-content/uploads/2018/07/Robocrop-InRow-.pdf>
- Google maps. (sd). *Google maps*. Opgehaald van Google maps: https://www.google.be/maps/@51.002152,3.4789182,470m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDQzMzMC4xIKXMDSoJLDEwMjExNDUzSAFQAww%3D%3D
- Hak NL. (sd). *GARFORD-InRow-serie-v12.10.pdf*. Opgehaald van Hak NL: <https://haknl.com/wp-content/uploads/2012/09/GARFORD-InRow-serie-v12.10.pdf>
- Hiddink, J. (sd). *CZAV en Nedato testen Nucrop loofdoding*. Opgehaald van NieuweOogst: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2022/08/12/czav-en-nedato-testen-nucrop-loofdoding>
- Houden, F. (sd). *Geleidingsvloei stof spaart vermogen bij loofdoden*. Opgehaald van NieuweOogst: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2022/07/14/geleidingsvloei stof-spaart-vermogen-bij-loofdoden>
- ILVO. (sd). *ILVO lanceert testopstelling voor machinebouwers op landbouwbeurs Agribex*. Opgehaald van ILVO: <https://ilvo.vlaanderen.be/nl/nieuws/ilvo-lanceert-testopstelling-voor-machinebouwers-op-landbouwbeurs-agribex>
- Imaging, V. (sd). *VA Imaging - "Your vision, Our imaging"*. Opgehaald van VA Imaging: <https://va-imaging.com/nl/pages/over-va-imaging>
- Inagro. (sd). *20 jaar proefbedrijf biologische landbouw: opgebouwde kennis en technische innovaties maken bio haalbare kaart*. Opgehaald van Inagro: <https://inagro.be/nieuws/20-jaar-proefbedrijf-biologische-landbouw-opgebouwde-kennis-en-technische-innovaties-maken>

- K.U.L.T. (sd). Opgehaald van <https://kulti-select.nl/k-u-l-t-iselect/>
- Koerhuis, R. (2025, 11 11). *Aantal lasertoepassingen groeit razendsnel*. Opgehaald van Trekker Online: <https://trekkeronline.nl/2025/11/aantal-lasertoepassingen-groeit-razendsnel/>
- Krinkels. (sd). *Krinkels investeert in elektrische onkruidbestrijding*. Opgehaald van Krinkels: <https://www.krinkels.be/nl/nieuws/krinkels-investeert-in-elektrische-onkruidbestrijding-796/>
- Le Sillon Belge. (sd).
- Lemken. (sd). *Lemken IC Weeder*. Opgehaald van Lemken.com: <https://lemken.com/de-de/landmaschinen/cropcare/unkrautbekaempfung-landwirtschaft/mechanische-unkrautbekaempfung-landwirtschaft/ic-weeder>
- maps, G. (sd). Opgehaald van Google maps: <https://www.google.com/maps/place/ILVO+Agrotechniek+%26+Productkwaliteit+en+innovatie/@51.0235069,3.6274867,32891m/data=!3m1!1e3!4m35!1m28!4m27!1m16!1m2!1s0x47c341ccfcd01517:0x21490865e6e3c592!2sPlanten+Devolder,+Ruisseleedsesteenweg+104,+8700+Tielt!2m2!1>
- Maskinbladet. (sd). Opgehaald van https://www.maskinbladet.dk/artikel/128921_tysk-laser-krig-mod-dansk-ukrudt
- Matériel Agricole. (sd). *New Holland AgXtend XPR : Le désherbage électrique s'invite entre les rangs*. Opgehaald van Matériel Agricole: <https://www.materielagricole.info/desherbeur-electrique/article/840212/new-holland-agxtend-xpr-le-desherbage-electrique-sinvite-entre-les-rangs>
- Nucrop. (sd).
- Odd Bot. (sd). *Odd Bot Maverick*. Opgehaald van Odd.Bot.nl: <https://odd.bot/nl/maverick>
- Photoheyler. (sd). *Photoheyler Rotorhacke*. Opgehaald van Photoheyler: <https://www.photoheyler.de/#products>
- Pleinchamp. (sd). *Systematisch, over de volledige breedte of tussen de rijen, vlak of op verhogingen en tot 12 meter: elektrische onkruidbestrijding volgens Stecomat*. Opgehaald van Pleinchamp: <https://www.pleinchamp.com/actualite/systemique-en-plein-ou-inter-rang-a-plat-ou-sur-buttres-et-jusqu-a-12-metres-le-desherbage-electrique-selon-stecomat>
- Roek, P. (sd). *Nederlandse teler investeert €1,4 miljoen in LaserWeeder*.
- Rubocon.nl. (sd).
- Samo. (sd). *Samo Variochop AI "in-row"*. Opgehaald van Samo GMBH: <https://www.samo-gmbh.at/nl/variochop-ai/>
- Schoffelonderdelen.nl. (sd). *Schoffelonderdelen.nl*. Opgehaald van Schoffelonderdelen.nl: https://schoffelonderdelen.nl/products/hengers-a-mes-45-cm-met-steel?_pos=1&_sid=c4e8982c6&_ss=r&_gl=1*1ha7gsz*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAjwvPBhBuEiwAPMijr-5a80a0Y4LL8v62xrZtNUI9ITFMaXiSj5tQuRYx-ymX5hqnKJx3RoC0dIQAvD_BwE&gbraid=0AAAAApB9UQoKtIZWhrpG
- Smits, M. (2025). Carbon Robotics start productie LaserWeeder in Nederland. *Trekker Online*, 1.
- Stallen, J. (2022, 7 19). 12-rijige wiedrobot ruimt autonoom onkruid op. *Trekker*.
- STIL ICT. (sd). *You Only Look Once*. Opgehaald van stilict.nl: <https://stilict.nl/artifici%C3%ABle-intelligentie/111-yolo.html?showall=1>
- Subito. (sd). *Sarchiatrice BADALINI*. Opgehaald van Subito.it: <https://www.subito.it/veicoli-commerciali/sarchiatrice-badalini-cuneo-601642583.htm>
- Thijssen, C. (sd). *Uitgelicht | Elektrische bestrijding jacobskruiskruid en knolcyperus*. Opgehaald van www.boerderij.nl: <https://www.youtube.com/watch?v=GpNv7AIVP44>
- Tuinplaats. (sd). *Onkruid gasbrander: snel en effectief onkruid bestrijden*. Opgehaald van Tuinplaats.nl: <https://tuinplaats.nl/onkruid-gasbrander-effectief-onkruid-bestrijden/>
- Van Den Akker, M. (sd). *VIDEO | Escarda Laserweeder combineert camera, AI en laser*. Opgehaald van Trekker: <https://trekkeronline.nl/2025/06/video-escarda-laserweeder-combineert-camera-ai-en-laser/>

- Van Der Horst, A. (2023, 9 4). *Lemken schrapt de naam Steketee*. Opgehaald van mechaman.nl: <https://www.mechaman.nl/artikel/20230904/lemken-schrapt-de-naam-steketee/#:~:text=De%20blauwe%20machines%20zijn%20voor%20het%20eerst,zien.%20Lemken%20nam%20Steketee%20in%202018%20over.>
- Van Erkelens, J. (2025). *Homburg importeert marktrijpe Escarda-laserweeder*. Opgehaald van Trekker: <https://trekkeronline.nl/2025/04/escarda-laserweeder-marktrijp/>
- Van Hattum, B. (2023). *Pöttinger Tinecare-wiedeg naar tweede fase*. Opgehaald van Trekkeronline.nl: <https://trekkeronline.nl/2023/09/pottinger-tinecare-wiedeg-naar-tweede-fase/>
- Van Tuijl Innovations. (sd). Opgehaald van Van Tuijl Innovations: <https://vti.nl/product/weedetele-zrs/>
- Vanhoucke. (sd). *Focas Heavy*. Opgehaald van Vanhoucke Machine Engineering: <https://vanhoucke.engineering/product/onkruidbestrijding/focas-heavy/>
- Vanhoucke machine engineering. (sd). Opgehaald van <https://vanhoucke.engineering/>
- Verschueren, T. (sd). *Waarom alternatieve onkruidverwijdering*. Opgehaald van Tractoren Verschueren: <https://www.tractor-verschueren.be/agxtend-xpower>
- Willaert. (sd). *Ilex meserveae 'Blue Maid'®*. Opgehaald van Willaert: <https://www.willaert.be/nl/plant/ilex-meserveae-blue-maid/ilmbmaid>
- Willaert. (sd). *Osmanthus burkwoodii*. Opgehaald van Willaert: <https://www.willaert.be/nl/plant/osmanthus-burkwoodii/OSBURKWO>
- Willaert. (sd). *Phillyrea angustifolia*. Opgehaald van Willaert NV: <https://www.willaert.be/nl/plant/phillyrea-angustifolia/PHANGUST>
- Willaert. (sd). *Prunus lusitanica 'Angustifolia'*. Opgehaald van Willaert NV: <https://www.willaert.be/nl/plant/prunus-lusitanica-angustifolia/PRLANGUS>
- Willaert. (sd). *Taxus baccata*. Opgehaald van Willaert: <https://www.willaert.be/nl/plant/taxus-baccata/TABACCAT>