

# **Sensorgestuurde onkruidbestrijding op sportvelden**

Auteurs: van Evert, F.K., Molenaar, H., Duym, A., Schabbink, E., Kempenaar, C.

Wageningen, 14 november 2012

De auteurs zijn werkzaam bij respectievelijk WUR-PRI te Wageningen, Tumoba te Barendrecht, Arvoo Imaging Products te Montfoort, en Donker te Sneek en nogmaals WUR-PRI.

## **Inleiding**

Op sportvelden wordt veelal 1 à 2 maal per jaar volvelds gespoten tegen breedbladige onkruiden (o.a. weegbree, varkensgras en klaver). MCPA is hierbij het meest gebruikte middel. De kans dat dit middel in het grond – of oppervlaktewater terecht komt is groot omdat sportvelden gewoonlijk goed gedraineerd zijn. Maar op een goed beheerd sportveld wordt vaak niet meer dan 10-15% van de oppervlakte ingenomen door breedbladige onkruiden. Het grootste deel van het bestrijdingsmiddel komt dus terecht op plaatsen waar geen onkruid staat.

Met behulp van beeldverwerking kunnen breedbladige onkruiden onderscheiden worden van gras. Deze techniek is oorspronkelijk ontwikkeld voor de mechanische bestrijding van ridderszuring in de biologische melkveehouderij (Van Evert et al., 2009; Van Evert et al., 2011). In dit project wordt de beeldverwerkingstechniek geschikt gemaakt voor de bestrijding van breedbladige onkruiden in sportvelden. Daarmee wordt het mogelijk een spuit te maken die het onkruid selectief bestrijdt (alleen dáár spuit waar ook werkelijk onkruid staat). Op deze wijze kan een grote reductie van middelverbruik worden bereikt.

## **Materiaal en methoden**

In dit project wordt de techniek voor herkenning van breedbladig onkruid in grasland in biologisch beheerd grasland toegepast op sportvelden. Met name de volgende aanpassingen zijn nodig:

- Zowel het gras als het onkruid zijn kleiner op sportvelden dan in de landbouw. Hieruit volgt dat het beeldverwerkingssysteem met een hogere resolutie moet werken.

- Voor de sportvelden wordt een werktuig gemonteerd op een trekker, in plaats van dat er gebruik gemaakt wordt van een robot. De trekker wordt gebruikt bij een hoge rijsnelheid (tot 10 km/u). Hierdoor moet het beeldverwerkingssysteem een zeer korte belichtingstijd gebruiken en moet de verwerkingssnelheid hoog zijn. Dit stelt specifieke eisen aan de belichtingstechniek en aan de computer hardware.
- Het is gewenst om te belichten met infrarood(IR) licht omdat (a) mensen dit licht niet zien en dus niet naar een voortdurend knipperende lichtbron hoeven te kijken, en (b) groene planten een hoge reflectie hebben voor infrarood licht waardoor er relatief weinig licht-energie nodig is.

## **1e prototype**

### **Metingen t.b.v. 1<sup>e</sup> prototype**

Op 24 juni 2010 zijn opnames gemaakt met drie verschillende typen cameras(IR, kleur, monochroom). Het doel was te bepalen welk type camera gebruikt kan worden, welke resolutie nodig is, en wat het effect is van geheel of gedeeltelijk afschermen van omgevingslicht. De opnamen zijn in Wageningen op velden van sportcentrum "De Bongerd" gemaakt (Figuur 1).

Uit de metingen kwam naar voren dat met de IR camera goed onderscheid gemaakt worden tussen groen materiaal enerzijds en verharding of kale bodem anderzijds. Verder bleek dat met de IR camera de textuur-verschillen tussen gras en onkruid goed te zien zijn, maar dat de resolutie van de gebruikte opstelling onvoldoende was. Opnamen van een test-kaart lieten zien dat de resolutie van het IR systeem ongeveer 0.7 mm/pixel was. Tenslotte was duidelijk dat volledige afscherming van omgevingslicht de beste resultaten gaf (de IR camera is voorzien van een flitser). Een voorbeeld van de opnamen is gegeven in Figuur 2.

Op 14 en 15 september van datzelfde jaar zijn verdere opnamen gemaakt op De Bongerd in Wageningen om precies de benodigde resolutie te bepalen. Er zijn twee series beelden gemaakt, nl. met een resolutie van 0.3 mm en 0.15 mm per pixel. Het beeldverwerkingsalgoritme is gebruikt om beide series beelden te verwerken. Daaruit is gebleken dat met 0.3 mm het onkruid goed is te onderscheiden van het gras. Het verhogen van de resolutie tot 0.15 mm leidde niet tot een beter resultaat.



**Figuur 1. Meetopstelling.**



**Figuur 2. Opname van onkruid in gras. Links: met kleurencamera. Rechts: met infrarood camera.**

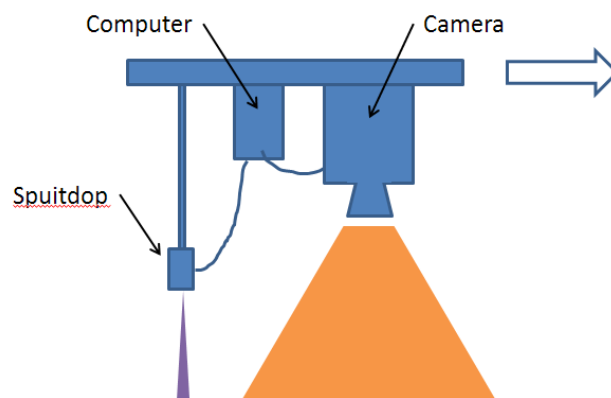
## **Plan van Eisen**

Op basis van het resultaat dat een IR camera goed resultaat oplevert mits een resolutie van 0.3 mm/pixel wordt gebruikt, is een Plan van Eisen opgesteld voor een gekoppeld systeem van beeldverwerking en spuiten (Figuur 3). De beeldverwerking is voortdurend actief. Zodra de aanwezigheid van onkruid gedetecteerd wordt, wordt de klep van de spuit geopend en het onkruidje bespoten. Hierbij wordt rekening gehouden met de relatieve posities van camera en spuit, de snelheid van beeldverwerking, de reactiesnelheid van de klep op de spuit en van de spuitvloeistof en met de rijnsnelheid.

Specifieke eisen:

- Het beeldverwerkingssysteem bestaat uit IR belichting, IR camera, en beeldverwerking volgens bestaand algoritme.
- Het systeem moet kunnen werken bij de gebruikelijke rijnsnelheid bij onkruidbestrijding op sportvelden van 8 à 10 km/u.

- Pixels van 0.3 x 0.3 mm.
- Software: kernel-bewerking op venster van 7 x 7 pixels, daarna drempelen en een aantal binaire bewerkingen op het hele beeld.
- Nozzle-grootte, druk, spuitvolume, verdunning: alles volgens label cq. gebruikelijke waarden.
- Aansluiting van electronica op kleppen volgens ervaring van Tumoba.
- Pulsgever op het wiel koppelt rijdsnelheid terug naar de electronica.



**Figuur 3. Schematische voorstelling van de selectieve spuit. De pijl geeft de rijrichting aan.**

## Bouw

Het 1<sup>e</sup> prototype was gereed in juni 2011 (Figuur 4). Dit prototype bestond uit een met de hand te trekken voertuigje met één spuitdop. Het beeldverwerkingssysteem bestond uit een voor dit doel aangepaste standaardcamera van Arvoo. Een rugspuit was opgebouwd om het spuiten te realiseren.



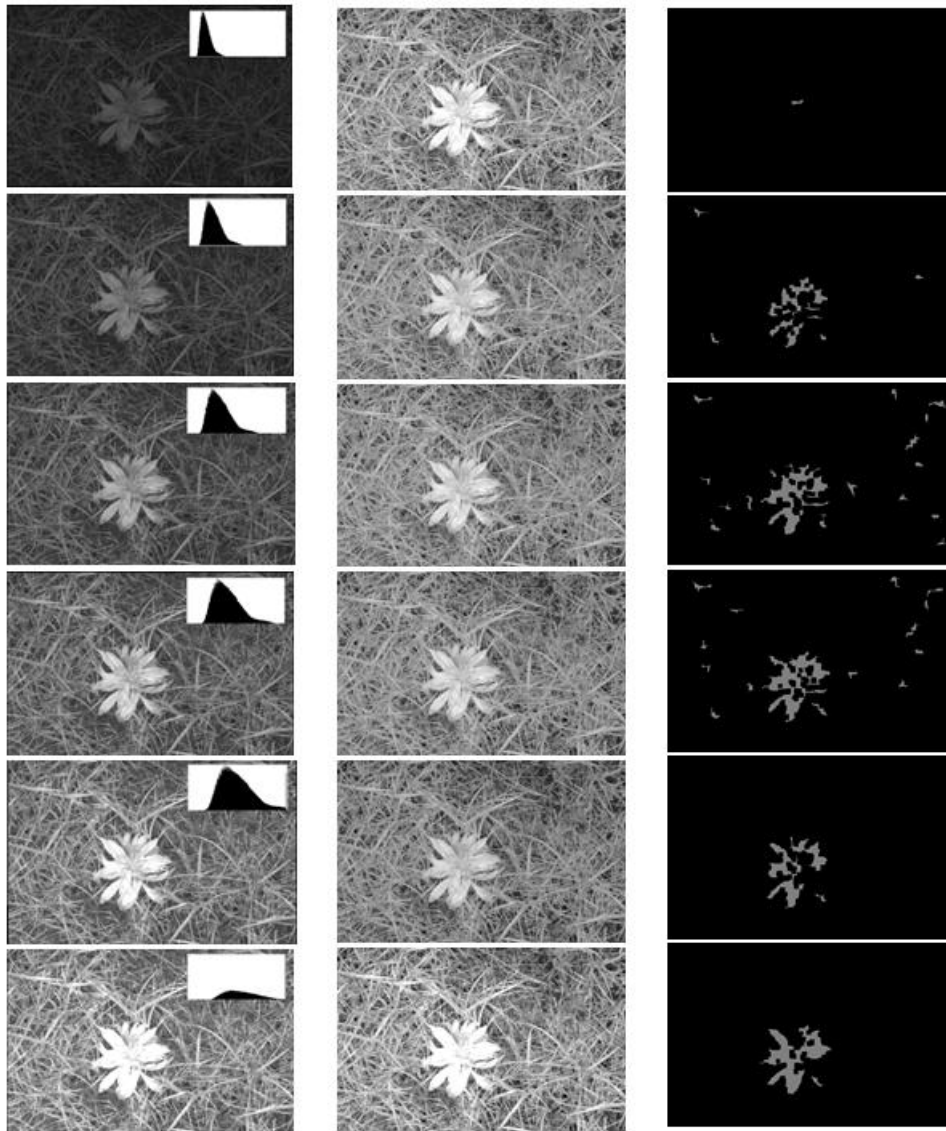
**Figuur 4. Foto van het eerste prototype.**

### **Resultaat 1e prototype**

Het prototype is gebruikt om onder wisselende omstandigheden en op verschillende sportvelden beelden te verzamelen. Dit was mogelijk door een laptop aan te sluiten op de beeldverwerkingscomputer op het voertuig en al rijdend de beelden op de laptop op te slaan.

Hierbij bleek dat de wisselende conditie van het sportveld resulteerde in wisselende belichting van de beelden. De wisselende belichting had een groot effect op het resultaat van de beeldverwerking. Er is daarom gezocht naar een methode om het effect van wisselende belichting weg te werken. Dit heeft geresulteerd in een aanpassing van de beeldverwerking. Hiermee is het mogelijk grote verschillen in belichting op te vangen (Figuur 5).

Na aanpassing van de software voor beeldverwerking, werd 80% van de beelden correct geclassificeerd als wel/geen onkruid. Dit kan naar verwachting in de toekomst nog verbeterd worden door (a) optimalisatie van het instellen van de parameters van de software, en (b) optimaliseren van de opname techniek (sluittijd, belichting).



**Figuur 5.** Testbeelden ter illustratie van het vereffenen van belichtingseffecten. In de linkerkolom is een serie beelden zichtbaar met van boven naar beneden toenemende sluitertijd (de inzetjes geven de verdeling van de pixels over belichtingsnivo aan). In de kolom in het midden zijn de verschillen in belichting vereffend. In de rechterkolom is het uiteindelijke resultaat van de beeldverwerking gegeven: met uitzondering van de eerste (meest donkere) opname wordt bij de verschillende belichtingsnivo's een vergelijkbaar resultaat bereikt.

## Prototype op praktijkschaal

Het Plan van Eisen voor het prototype op praktijkschaal is gebaseerd op dat van het 1<sup>e</sup> prototype. Er wordt gedacht aan een werktuig met een werkbreedte van 3 m. Het werktuig bestaat uit 3 identieke segmenten van 1 m; in eerste instantie wordt één segment gebouwd.

Elk segment rust tijdens het spuiten op wielen, zodat de afstand van camera tot gras zo constant mogelijk blijft. Het is wenselijk om de camera (flink) lager te monteren dan nu het geval is zodat het

apparaat niet onnodig groot wordt. Pomp, kleppen en camera worden gevoed met 12V van trekker, quad of losse accu.

Elk segment heeft een werkbreedte van 1 m en is op te hangen aan/achter een quad of vergelijkbaar voertuig. Met dit prototype kan het gedrag van een 1 m brede, door camera's gestuurde, met vier doppen uitgeruste, spuit getest worden. Qua uitvoering is het prototype op praktijkschaal een verviervoudiging van het 1<sup>e</sup> prototype: het bevat vier camera's en vier spuitdoppen. Het is zaak om de flitsers van de vier camera's te synchroniseren om versterking en uitdoving te voorkomen.

Voorafgaand aan het ontwerpen van het prototype op praktijkschaal zijn twee vragen onderzocht:

- Resolutie: als er vier camera's gebruikt worden van hetzelfde type als in het 1e prototype, resulteert dat in een resolutie 0.37 mm/pixel. Is dat nog voldoende nauwkeurig voor de beeldverwerking?
- Speculaire reflectie: gras is soms nat en in een aantal gevallen hebben we gezien dat er speculaire reflectie optreedt. Een polarisatiefilter kan de spiegeling verminderen, maar dan is er meer licht nodig van de LEDs in de flitser. Het is mogelijk dat we hier tegen grenzen oplopen, want de sluitertijd mag maximaal 126  $\mu$ s zijn op basis van de rijsnelheid (10 km/s) en maximale toegestane bewegingsonscherpte van 1 pixel. Vragen zijn dus: Hoe sterk kan de spiegeling zijn? In welke mate verstoort spiegeling de beeldverwerking? Kan een polarisatiefilter de spiegeling verminderen? Hoeveel licht wordt er geabsorbeerd door het polarisatiefilter?

## **Resolutie**

De beeldverwerking is gebaseerd op de observatie dat de variantie van een beeld met gras hoger is dan de variantie van een beeld met onkruid. De vraag bij welke resolutie gras en onkruid nog te onderscheiden zijn, kan dan ook vertaald worden als de vraag naar wat er gebeurt met de verhouding van de variantie van gras- en onkruidbeelden. Deze vraag is beantwoord door 79 eerder opgenomen beelden te analyseren. Een aantal van deze beelden bevat alleen gras, terwijl er ook beelden zijn met zowel gras als onkruid. Van de onkruidbeelden is handmatig de contour van het onkruid bepaald en als masker weggeschreven.

Alle beelden zijn met stapjes van 1% gereduceerd van 100% resolutie tot 10% resolutie. Voor elke resolutie is de variantie berekend voor het deel van het beeld met gras en voor het deel

metonkruid. Voor het onkruid gedeelte is eerst een binaryerosion van 8 pixels (de kernel grootte van het variantie filter) uitgevoerd.

De histogrammen voor onkruid (rood) en gras (groen) voor de verschillende resoluties zijn weergegeven in Figuur 6. Duidelijk is te zien dat naarmate de resolutie hoger is de pieken smaller zijn en minder overlappen.

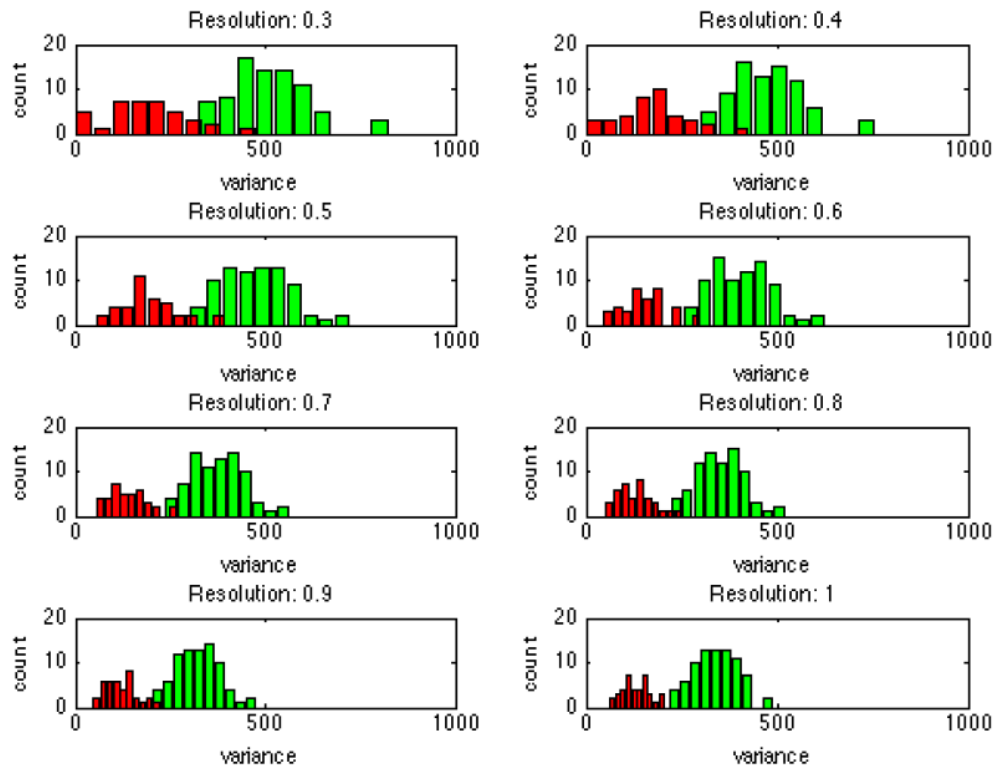
Een lagere resolutie maakt het dus inderdaad moeilijker om onkruid te herkennen. De vraag is hoe groot het effect is in termen van percentage goed geclassificeerde beelden. In het voorafgaande werd al van alle beelden voor de verschillende resoluties de variantie berekend voor het deel van het beeld met gras en voor het deel met onkruid. Op basis daarvan is hier (voor elke resolutie) eerst de gemiddelde variantie van gras en de gemiddelde variantie van onkruid berekend. Vervolgens is voor elk afzonderlijk beeld de variantie berekend voor het gedeelte met gras en voor (als dat aanwezig is) het gedeelte met onkruid. Om nu te bepalen hoe de software bij deze resolutie dit beeldgedeelte classificeert, wordt het verschil bepaald met de gemiddelde variantie. Als de variantie dichterbij de variantie van gras ligt dan bij de variantie van onkruid, nemen we aan dat het om gras gaat. Als de variantie dichterbij de variantie van onkruid ligt, nemen we aan dat het onkruid is.

Er zijn drie oorzaken voor verkeerd spuiten:

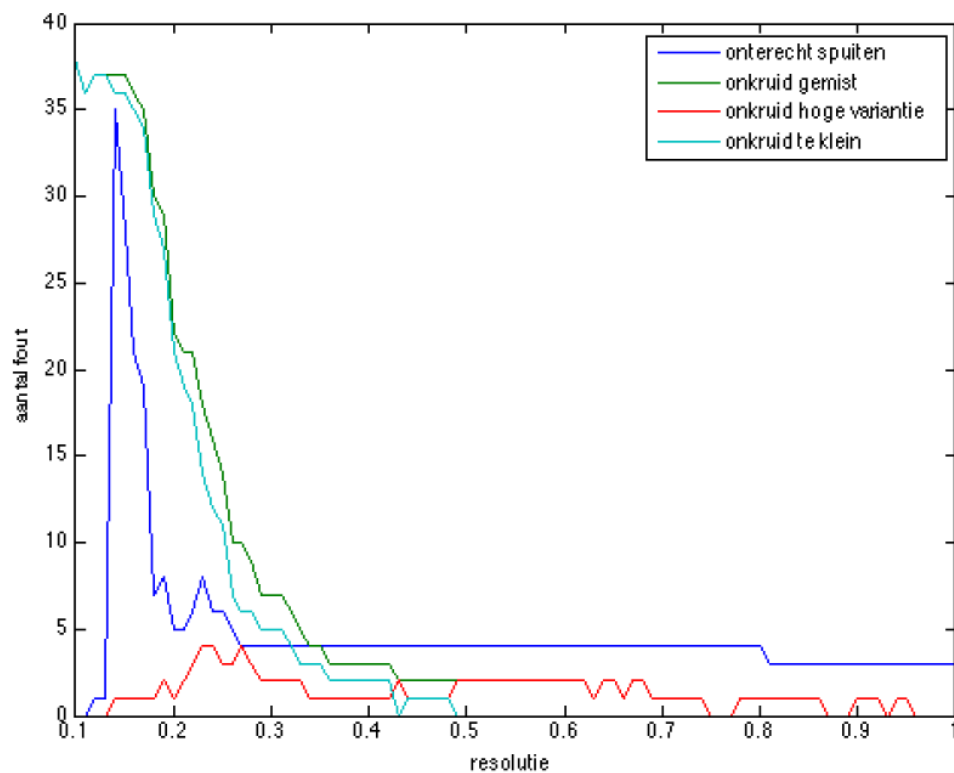
1. De variantie van het onkruid beeld is te hoog. (onkruid gemist)
2. Als de resolutie erg laag wordt verdwijnen kleine onkruid planten uit beeld. (onkruid gemist)
3. De variantie van het gras beeld is te laag (onterecht spuiten)

In Figuur 7 is aangegeven hoe vaak verkeerd gespoten wordt als functie van de resolutie. De tweede (groene) lijn geeft het aantal onkruid planten aan dat niet bespoten wordt (soms van de derde lijn (oorzaak 1) en vierde lijn (oorzaak 2)).

Uit Figuur 6 en Figuur 7 kan worden afgeleid dat het punt waaronder het echt fout gaat ligt bij een resolutie van ongeveer 0.4 (0.75 mm/pixel). Bij hogere resoluties gaat het beter; bij 0.8 is er geen overlap meer tussen de  $\pm 2$  sigma punten uit de verdeling. Hoewel er ook dan nog een paar fouten worden gemaakt, lijkt het dus veilig om de resolutie te verkleinen tot 0.8 (0.375 mm/pixel). De conclusie leidt dat in het prototype op praktijkschaal kan gebruik gemaakt worden van vier camera's van hetzelfde type dat gebruikt werd in het 1<sup>e</sup> prototype.



**Figuur 6. Histogrammen van de variantie van beeldelementen met gras (groen) en beeldelementen met onkruid (rood) bij verschillende resoluties.**



**Figuur 7. Het aantal foute spuitbeslissingen neemt toe als de resolutie afneemt. Zie tekst voor verdere uitleg.**

## **Speculaire reflectie**

De vragen m.b.t. speculaire reflectie zijn aangepakt op 21 februari 2012 in een meetsessie die is uitgevoerd in het lab van Arvoo (Figuur 8). Door een aantal proefopstellingen te bouwen kon het volgende vastgesteld worden.

Een polarisatiefilter neemt ca. 50% van het licht weg. Het gebruikte filter was een algemeen filter en niet volledig zwart in het infrarode gebied; een specifiek IR polarisatiefilter zal meer licht wegnemen.

In overeenstemming met de theorie hebben we vastgesteld dat er twee polarisatiefilters nodig zijn om spiegeling volledig weg te werken: één voor de lichtbron en één voor de lens. Daardoor is 3 á 4 maal zoveel licht nodig als wanneer zonder filters wordt gewerkt. De oriëntatie van het object is niet van invloed op de effectiviteit van de filters.

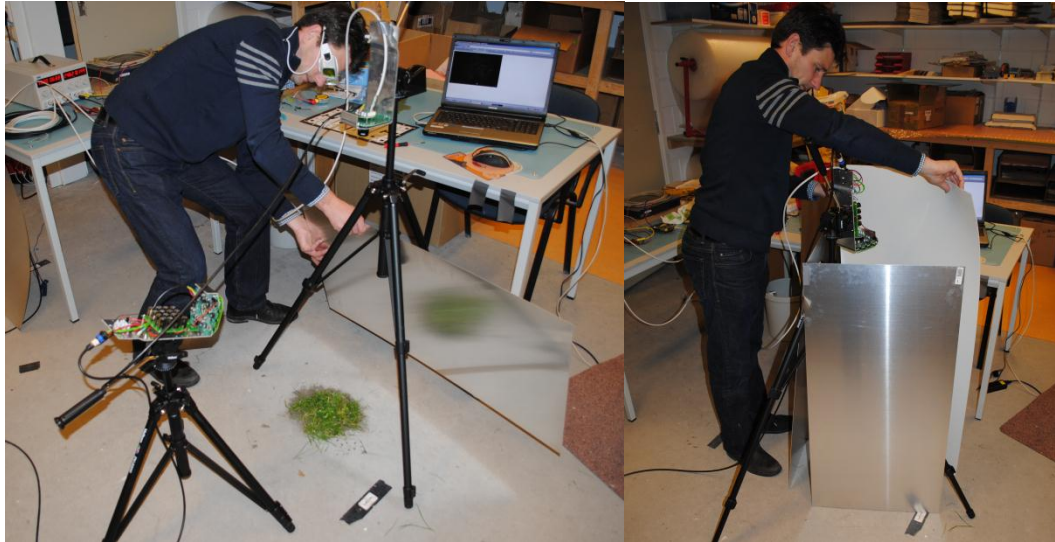
Speculaire reflectie door de aanwezigheid van waterdruppels op het blad treedt wel op, maar het aantal verzadigde pixels is niet groot (Figuur 9). De labsituatie in deze meetsessie is vergelijkbaar met in het veld behaalde resultaten.

Het aanbrengen van de gedeeltelijke afscherming die in dit experiment bereikt kon worden, resulteerde in een verhoging van de lichtopbrengst tussen 50 en 100%.

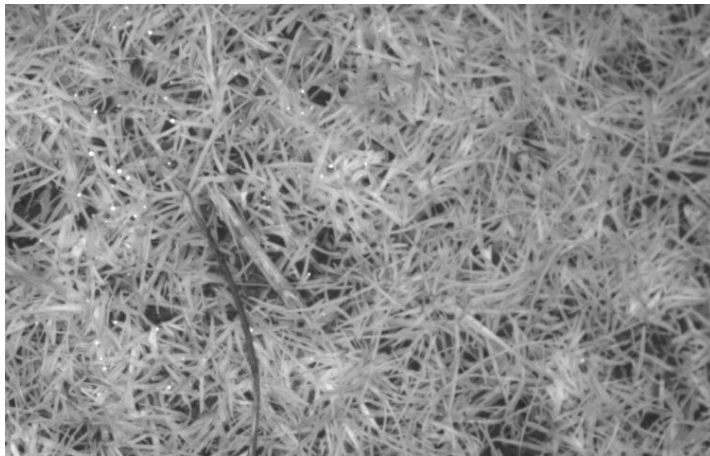
Speculaire reflectie kan volledig vermeden worden door alléén indirect te belichten. Belichten onder een hoek leidt niet tot verminderde speculaire reflectie.

Speculaire reflectie is slechts een kleine verstorende factor in de opnamen van onkruid op sportvelden. De speculaire reflectie die optreedt, kan op twee manieren goed worden weggenomen. De eerste manier is door twee polarisatiefilters te gebruiken: één voor de lichtbron en één voor de camera. De tweede manier is door het object alléén indirect te belichten. Bij beide manieren is er minstens twee keer zoveel licht nodig als in de situatie waar geen corrigerende maatregelen genomen worden.

Op basis hiervan is besloten in het prototype op praktijkschaal géén rekening te houden met speculaire reflectie.



**Figuur 8. Proefopstelling t.b.v. meten van speculaire reflectie. Links: nat gras onder een camera op statief. Rechts: het gebruik van schermen om het licht van de flitsers effectief te gebruiken.**



**Figuur 9. Speculaire reflectie in nat gras. In dit voorbeeld zijn 227 verzadigde (witte) pixels in het beeld waarneembaar.**

## **Bouw**

Het prototype op praktijkschaal was gereed in juni 2012. Het bestaat wederom uit een met de hand getrokken voertuigje. Aan de voorkant zijn de rugspuit en de accu voor de electronica te zien (Figuur 10), terwijl aan de achterzijde de vier spuitdoppen zijn te zien (Figuur 11). De camera's en de electronica zijn in de aluminium behuizing verborgen.



**Figuur 10. Vooraanzicht van het prototype op praktijkschaal.**



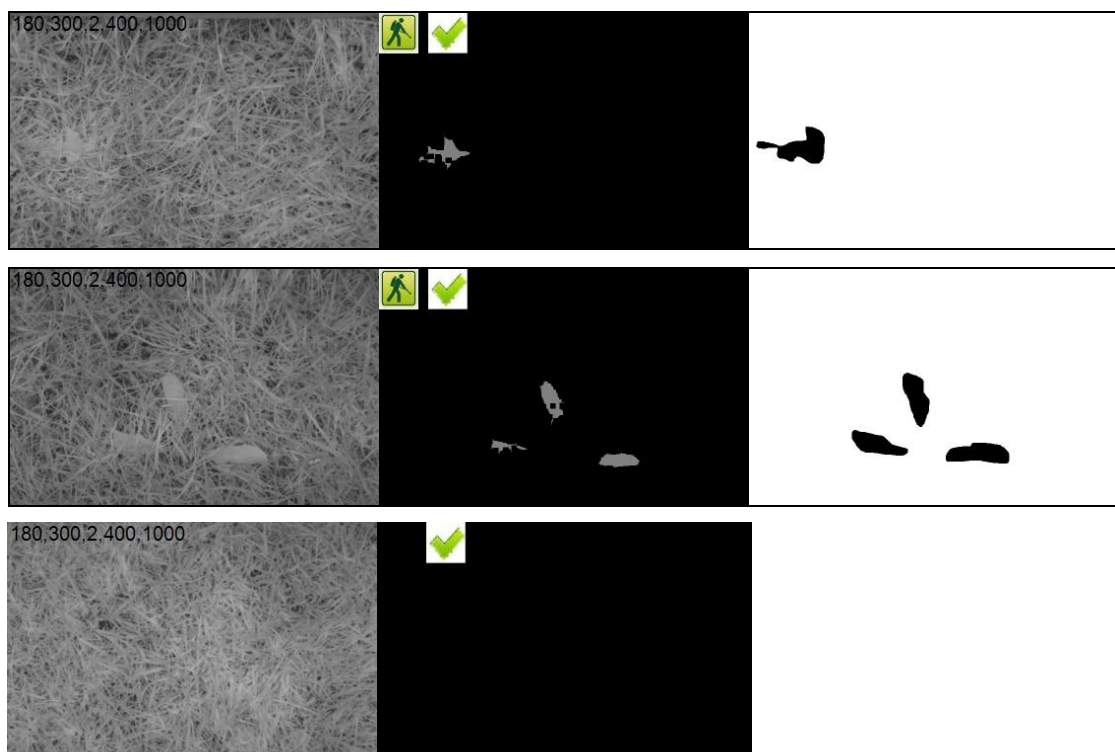
**Figuur 11. Achteraanzicht van het prototype op praktijkschaal.**

### **Resultaat prototype-op-praktijkschaal**

Het prototype op praktijkschaal is op een aantal sportvelden gebruikt om opnames te maken. Hierbij kwam al snel naar voren dat de camera's in het midden evenwichtig belichte beelden opleverden, terwijl de beelden van de camera's aan het linker- en rechter-einde naar de buitenkant toe donkerder werden. De oorzaak hiervan was gelegen in het feit dat de buitenste camera's aan de rand van kast zitten en dat hun zichtveld dus aan slechts één kant werd bijgelicht door de flitser van een aangrenzende camera. Dit probleem werd opgelost door een software-matige correctie van de helderheid van het beeld toe te passen.

Het prototype op praktijkschaal neemt in 80% van de gevallen een correcte beslissing om al dan niet te spuiten. In Figuur 12 wordt een aantal voorbeelden van correcte beslissingen getoond. Het is overigens mogelijk om de instellingen van de parameters zodanig te veranderen dat meer dan 80% van de onkruidjes bespoten wordt, maar dan gaat het aantal gevallen waar gespoten wordt zonder dat er een onkruidje staat óók omhoog.

Het prototype op praktijkschaal is in beperkte mate in het veld getest. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een witte kleurstof waardoor te zien is wanneer en waar er gespoten is (Figuur 13).



**Figuur 12.** Een aantal voorbeeld van het resultaat van de beeldverwerking in het prototype op praktijkschaal. Voor alle beelden geldt: links=origineel beeld; midden=resultaat beeldverwerking; rechts=met de hand uitgesneden masker voor de aanwezigheid van onkruid. Verder geldt: boven en midden: onkruid herkend, besloten om te spuiten, dit is correct; onder: geen onkruid herkend, besloten om niet te spuiten, dit is correct.



**Figuur 13. Veldtest van het prototype op praktijkschaal. Er wordt gespoten met een witte kleurstof om na te kunnen gaan of er op de juiste momenten gespoten wordt. In deze foto's is te zien dat de kleurstof te dik is om homogeen verspreid te worden. Op de foto links is te zien dat elke spuitdop een eigen spoor nalaat. Op de foto rechts is te zien dat de aanwezigheid van een onkruidje de spuit aanzette en dat deze vrij lang aan bleef staan.**

## Conclusies en aanbevelingen

Het prototype op praktijkschaal neemt een correcte beslissing in 80% van de gevallen. Uit de reacties van het publiek bij de verschillende gelegenheden waar de resultaten gepresenteerd zijn, blijkt dat deze nauwkeurigheid als meer dan voldoende wordt beschouwd. Dit is goed te begrijpen, want breedbladig onkruid op sportvelden is pas een probleem wanneer het de overhand krijgt. Een onkruidje hier en daar is daarentegen geen probleem. De inzet van een selectieve spuit die de onkruiddruk met 80% vermindert, is voldoende om het onkruidprobleem beheersbaar te maken of te houden.

Het reductiepotentiël van de selectieve spuit is groot. Op een goed beheerd sportveld wordt vaak niet meer dan 10-15% van de oppervlakte ingenomen door breedbladige onkruiden. Er mag dus verwacht worden dat inzet van de in dit project ontwikkelde spuit kan leiden tot een reductie in middelverbruik van 85-90%.

Tegenover dit reductiepotentiël staan natuurlijk de meerkosten van de geavanceerde apparatuur. Het is nu nog te vroeg om hier een goede indicatie van te geven.

## Met dank aan

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen werkpakket 3 van het KRW-project Duurzaam terreinbeheer.

Het KRW-project Duurzaam terreinbeheer en waterkwaliteit wordt gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de provincie Noord-Brabant, Waterbedrijf Brabant Water NV, Waterschappen De Bommel, Brabantse Delta, Rivierenland en Peel & Maasvallei. Tevens

leveren de deelnemende partners en pilot gemeenten eigen financiële en/of in kind bijdragen.

We danken verder Henri ten Klooster en Herman Hendriksen van Universitair Sportcentrum "De Bongerd" te Wageningen voor toestemming om metingen op "De Bongerd" uit te voeren.

## Literatuur

- Van Evert F.K., Polder G., Van der Heijden G.W.A.M., Kempenaar C., Lotz L.A.P. (2009) Real-time, vision-based detection of *Rumex obtusifolius* L. in grassland. *Weed Research* 49:164-174. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2008.00682.x
- Van Evert F.K., Samsom J., Polder G., Vijn M., van Dooren H.-J., Lamaker A., van der Heijden G.W.A.M., Kempenaar C., van der Zalm T., Lotz B. (2011) A robot to detect and control broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland. *Journal of Field Robotics* 28:264-277. DOI: 10.1002/rob.20377.