

Pilotprojekt vedr. billedanalyse på golfbaner med henblik på reduktion i pesticidforbruget og implementering af IPM

René Gislum¹ og Rasmus N. Jørgensen²

¹Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi, 4200 Slagelse.

²Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab, 8200 Aarhus N.

Indledning

Denne rapport beskriver anvendelsen af billedanalyse på golfbaner med henblik på reduktion i pesticidforbruget og implementering af IPM (Integrated Pest Management). Rapporten er bygget op omkring et litteraturstudium, den nyeste viden om anvendelsen af kamera/sensorer, billedanalyse, ukrudtsgenkendelse, IPM og hvordan dette kan implementeres på golfbaner. Litteraturstudiet tager udgangspunkt i aktiviteter/projekter fra golfbaner, mens afsnittet omkring den nyeste viden hovedsageligt er relateret til aktiviteter inden for landbruget i Danmark. Inddragelsen af landbrugsområdet sker på grund af de mange aktiviteter omkring sensorer, kamera, billedanalyse og IPM inden for dette erhverv. Til slut er beskrevet to ansøgninger som er relateret til disse aktiviteter samt forslag til aktiviteter, som kan bringe os nærmere målet med at implementere IPM på golfbaner i Danmark.

Baggrund for projektet

Rammedirektiv og behov for IPM implementering på golfbaner i Danmark

EU's direktiv om "Bæredygtig anvendelse af sprøjtemidler" ("Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 Establishing a Framework for Community Action to Achieve the Sustainable Use of pesticidesText with EEA Relevance," n.d.) er vedtaget implementeret i alle de nordiske lande. Det indebærer bl.a. at der skal laves specifikke retningslinjer for, hvordan IPM principperne gennemføres i forskellige "afgrøder". Der er et behov for konkrete og let tilgængelig information om, hvordan græsarealer bør plejes for at gøre arealerne så modstandsdygtige som muligt mod skadevoldere. EU direktivet gælder både for fødevareproduktion og ikke spiselige afgrøder såsom golfbaner.

De mest intensive plejede græsarealer er golfbanerne, hvor der findes 190 i Danmark. En golfbane dækker i gennemsnit (18 huller) ca. 70 ha, hvoraf ca. halvdelen plejes mere eller mindre intensivt. Det svarer til et samlet areal omkring 6.650 ha som plejes mere eller mindre intensivt.

En kortlægning af pesticidforbruget på de danske golfbaner samt pleje-procedurer har vist, at IPM endnu ikke er en tilstrækkeligt integreret del af pleje-procedurerne (A. M. D. Jensen et al. 2012). En udredning af undervisningsbehovet blandt danske greenkeepere har desuden vist, at IPM fokuserede plejetiltag ikke har fuld fokus bl.a. grundet manglende undervisningsmateriale.

IPM er integreret i landbrugsproduktionen, og der er i øjeblikket, og har været gennem længere tid projekter med det formål at udvikle teknologier, som kan bestemme og identificere ukrudt i

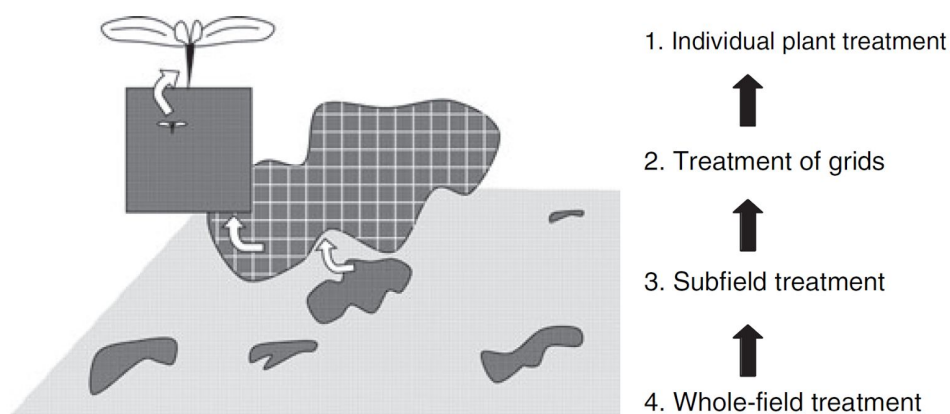
landbrugsafgrøder¹. Disse teknologier er primært kamera teknologier, hvor kameraet er monteret på et køretøj eller en drone. Billederne anvendes til at finde ukrudtsplanter, og kan i nogle tilfælde identificere ukrudtsplanten. På sigt er målet at kunne identificere ukrudtsplanten og dens placering i marken, hvorefter man kan foretage en stedsspecifik bekæmpelse med et valgt pesticid. Aktiviteterne er rettet mod en mark, men kunne i princippet også anvendes for en golfklub hvor de enkelte huller udgør markerne på den nedenfor nævnte gård.

Ifølge Christensen *et al.* (2009) omfatter de grundlæggende dele af lokalitetsspecifikke ukrudtsbekæmpelses teknologier tre hovedelementer:

1. Et ukrudtssansende system, som identificere, lokalisere og måler afgrøde- og ukrudtsparametre.
2. En ukrudtsmanagementmodel, som anvender viden og information om afgrøde/ukrudt konkurrence, populationsdynamik, biologiske effekter af bekæmpelsesmetoder og beslutningsalgoritmer, samt optimering af behandlinger i henhold til tæthed og sammensætning af ukrudtsarter, økonomiske mål og miljømæssige begrænsninger.
3. Et præcisionsukrudtsbekæmpelsesredskab, f.eks. en sprøjte med individuelle styrbare bomsektioner eller en række styrbare dyser, der muliggør rumligt variable anvendelse af herbicider.

Med hensyn til ukrudtsbekæmpelse, afspejles hierarkiet mht. rumlig opløsning på en gård i følgende fire niveauer (fig. 1) (Christensen *et al.* 2009):

1. Behandling af enkeltplanter med meget præcise og hurtige dyser, kontrollerbare mekaniske redskaber eller laserstråler.
2. Behandling i et gitter tilpasset til den rummelige opløselighed af, f.eks. justering af sprøjtning med en dyse eller en harveenhed.
3. Behandling af ukrudtspletter eller sub-marker med klynger af ukrudtsplanter.
4. Ensartet behandling af hele marken.



Figur 1: Den rumlige opløsning af ukrudtsbekæmpelse i en mark (fra (Christensen *et al.* 2009))

¹ F. eks. GUDP-RoboWeedSupport, HTF Den Intelligente sprøjtebom, GUDP BrainWeed, GUDP Graduering af fungicider og herbicider i kartofler og hvede, INNO+ Future Cropping, Innovationsfonden RoboWeedMaPS.

Forskere over hele verden har i de sidste årtier med meget begrænset held lykkedes med automatisk billedindsamling og ukrudtsgenkendelse på artsniveau. H-sensoren fra Agricon er lanceret i 2016 til indsamling af NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) billeder fra redskaber med hastigheder op til 12 km/t (Leithold 2016; Trengove 2016). DAT fra Norge lancerer i 2017 efter sigende et lignende system, som kan tage tydelige farvebilleder med hastigheder op til 25 km/t (DAT 2016; "Precision Agriculture" 2016; Overskeid et al. 2013; Syljuåsen 2016). Aarhus Universitet demonstrerede i 2016 et prototypekamera system som med hastigheden op til 50-60 km/t er i stand til at tage skarpe billeder med helt op til 4 pixels/mm (Laursen et al. 2017; Rasmus Nyholm Jørgensen, 2016). Systemerne kan imidlertid ikke umiddelbart genkende ukrudt på artsniveau, når planterne overlapper hinanden, som for eksempel er tilfældet i vinterhvede. Det skyldes, at de klassiske billedgenkendelsesalgoritmer bryder sammen, når planter overlapper hinanden, eller de enkelte ukrudtsblade ikke er synligt forbundne.

Formål

Formålet med dette pilotprojekt om anvendelse af billedanalyse på golfbaner er at beskrive status og potentialet ved anvendelsen af kameraer monteret på droner eller køretøjer på golfbaner med det formål at gøre det muligt via billedanalyser at identificere og kortlægge pletter med ukrudt, således at der, når det er muligt, alene sker pletsprøjtning, hvormed man opnår en reduktion i pesticidforbruget. I landbruget er dette så småt ved at finde anvendelse, og det er oplagt, at se om denne teknik med fordel kan anvendes på golfbaner.

Første del af rapporten er et litteraturstudie omkring anvendelsen af kamera monteret på droner eller køretøjer på golfbaner. Litteraturstudiet tager udgangspunkt i internationalt publicerede artikler, og beskriver muligheder og udfordringer omkring anvendelsen af kameraer og billedanalyse på golfbaner. Den næste del af rapporten er omkring anvendelsen af billedanalyse til genkendelse af ukrudt vs. græs. Denne del er primært fokuseret på kendt viden fra landbruget, hvor man allerede har opbygget en solid viden indenfor området. Forskellen på landbrugsafgrøder og golfbaner er dog stor, og resultaterne kan derfor ikke direkte overføres. Rapporten afsluttes med at beskrive muligheder og udfordringer ved at anvende kameraer monteret på droner eller køretøjer til at reducere pesticidforbruget på golfbaner.

State-of-the art omkring golfbaner, kamera, billedbehandling og ukrudt

Der findes kun meget begrænset litteratur omkring anvendelsen af kamera og billedanalyse til bekæmpelse af ukrudt på golfbaner. Men der eksisterer services som f.eks. dronefirmaer, som tilbyder assistance med dronedyvninger², og foreslår, at man anvender disse billeder til at optimere ukrudtsbekæmpelsen på golfbaner. Det er uklart, om disse billeder kan anvendes til ukrudtsbekæmpelse på golfbanen, da der ikke findes tilstrækkelig med dokumentation for metoderne. Vi forventer dog ikke, at disse billeder kan anvendes i et beslutningsstøttesystem til ukrudtsbekæmpelse som greenkeepere kan anvende på golfbaner.

² Eksempelvis: <http://www.spectrofly.dk/> / <http://www.airinov.fr/da/> / <https://dandrone.dk/landbrug/> / <http://primarydrones.dk/ydelsler/> (måske ikke aktive længere)

Ukrudt på golfbaner er et stort problem, og derfor forsøger man i litteraturen at anvende andre metoder til ukrudtsbekæmpelse som for eksempel naturlig konkurrence fra de udsåede græsser. Aamlid et al. (2012) beskriver resultater fra et norsk projekt, hvor de blandt andet tester forskellige green græssers konkurrenceevne overfor ukrudt. Forsøgslokaliteterne var Island, Landvik (Norge) og Apelsvoll (Norge) og man testede 41 sorter fordelt på 7 arter. Forsøgslokaliteterne ligger derfor alle tre i den 'nordlige' klimazone som beskrevet i artiklen, og man skal derfor være varsom med at overføre resultaterne til danske forhold. Forsøgene blev udført så de mindede mest muligt om rigtige greens, og der blev foretaget en række forskellige registreringer i forsøgene, som ligger til grund for en rangering af sorterne med hensyn til deres egnethed indenfor IPM. Forsøgene blev gennemført uden brug af pesticider, og afspejler derfor ikke nødvendigvis hvilke sorter, der vil klare sig bedst, hvis der blev anvendt reducerede mængder af pesticider. Resultaterne viser, at en række arter og artssammensætninger er velegnede sammen med IPM, hvorimod kun ganske få arter er velegnede, hvis der skal være et total forbud mod pesticider.

En god etablering og gode vækstbetingelser for græsserne er vigtig for at opnå en god konkurrenceevne mod ukrudt. Dette gør sig også gældende på golfbaner, men det er svært næsten umuligt at undgå ukrudt på golfbaner. Det er derfor nødvendigt med en bekæmpelsesstrategi, og resultater fra landbruget viser klart, at stedsspecifik bekæmpelse det vil sige kun bekæmpe steder, hvor der er ukrudt, og dermed undgå en bredsprøjtning er den bedste strategi for at reducere pesticidforbruget (Christensen et al. 2009; Gerhards 2013; Gutjahr, Sökefeld, and Gerhards 2012) men det er også en vigtig strategi for at udsætte herbicid resistens (Shaner and Beckie 2014).

Precision Turfgrass Management (PTM) er et integreret koncept, som tager udgangspunkt i Precision Agriculture (PA). I litteraturen beskrives PTM som en metode til at få oplysninger om en række forskellige kvalitetsparametre indenfor plænegræsser. Det er derfor meget naturligt, at anvende den allerede generede viden omkring billedanalyse og ukrudt udviklet under PA inden for PTM. Anvendelsen af PTM er blandt andet beskrevet i Bell (2008), Carrow (2009), Krum (2010), Bremer (2011). langt de fleste PTM aktiviteter omhandler græssernes farve, kvalitet og næringsstoffer, men der er generelt en meget stor interesse i at implementere teknologiske løsninger på golfbaner. Caturegli, (2015) sammenlignede anvendelsen af satellitter med sensorer i sit arbejde med at optimere kvælstofudnyttelsen. Vi forventer ikke, at man kan anvende satellitter til IPM på golfbaner, men det viser den interesse, omend interessen er forskningsbaseret og ikke praksisbaseret, der er for at implementere teknologier på golfbaner

(López-Bellido et al. 2012/2) anvendte et kamera til at estimere den optimale kvælstof tildeling i forhold til klippet biomasse og boldrul (green speed) baseret på et dark green color index (DGCI). Ding et al., (2016) testede anvendelsen af billedanalyse og forskellige algoritmer (neural network, support vector machines samt Ridge og LARS regressions modeller) til bestemmelse af farve, kvalitet og dækningsgrad af plænegræs. De fandt lovende resultater for anvendelsen af 'machine learning' til evaluering af plænegræs kvalitet og -farve. Det er lovende, at man kan se farveforskelle i plænegræsser, og denne information kan måske anvendes til at skelne ukrudt fra golf-græsser ud fra farve og ikke kun form. Dog vil forskellige former for stress, såsom næringsstof og/eller vand formentlig vanskeliggøre denne tilgang i et automatiseret system. Anvendelsen af FLIR (Forward Looking Infra Red) kamera til bestemmelse af vandstress er også undersøgt i golf-græsser blandt

andet af Kreuser (2015). Metoden er dog ikke tilstrækkelig udviklet eller testet, så man med sikkerhed kan fastslå, om metoden er anvendelig og med hvilken præcision på golfbaner.

Feyaerts et al. (1999b; 1999a) beskrev en Low Cost Imaging Spektrograf (LCIS) baseret på standard optiske komponenter. Den LCIS har en spektralområde fra 400 til 1000 nm, en spektral opløsning på 35 nm, en spaltebredde på 200 μm og en spaltelængde på 8 mm. Forfatterne sammenlignede klassificering satserne for LCIS med en konventionel spektrograf og med en højere spektral opløsning. Under kontrollerede forhold opnåede begge systemer meget høj klassifikationssystemer satser på mere end 85% mellem 11 klasser (en afgrøde og 10 ukrudtsarter). Zhang *et al.* (2012/4; 2012) benyttede en lignende multispektral og pixelbaseret tilgang til at skelne tomatplanter og flere ukrudtsarter samt succesfuldt bekæmpe de identificerede ukrudt med varm olie. Den store fordel ved pixelbaseret hyperspektral ukrudtsgenkendelse er at bladoverlap ikke får den store betydning (Christensen et al. 2009; Pantazi, Moshou, and Bravo 2016/6). Systemerne skanner i en smal linie (push broom³) og det er derfor et meget lille område, som skal oplyses. Der er endnu ikke set den store udbredelse af sådanne systemer i landbruget⁴.

Teksturbaseret billedanalyse synes at være en mere robust vej at gå, når bredbladet ukrudt skal identificeres i græs. Eksempelvis er bredbladet og græsukrudt på en jordbaggrund blevet adskilt ved en kombination af "Gabor wavelet (GW) and gradient field distribution (GFD)" (Ishak, Hussain, and Mustafa 2009/4; Tang, Tian, and Steward 2003). På økologiske enge er butbladet skræppe blevet identificeret med brug af form, farve og tekstur i konventionelle farvebilleder (Gebhardt et al. 2006; van Evert et al. 2011). Mortensen *et al.* (2015) fløj i en højde af 20 m over en efterafgrøde bestående af foderræddike og spildkorn og var i stand til at adskille disse med 94% sikkerhed baseret på relativt simple tekstur features. Lidt samme princip blev benyttet til at adskille/estimere dækningsgraden af hhv. kløver og græs i konventionelle billeder taget i 4 meters højde (Anders Krogh Mortensen, Søegaard, and Jørgensen 2014). I 2016 præsenterede Mortensen *et al.* (2016) en i denne kontekst meget spændende metode baseret på Deep Learning (DL), Som Michael Nielsen fra DTI forsøger at forklare på almindelig dansk⁵: "...Det nye og afgørende for deep learning er, at computerkraft og algoritmer nu er hurtige nok til at anvende mulighederne ved deep learning i praksis - uden at have adgang til en supercomputer...". Her præsenterede Mortensen *et al.* (2016) pixelbaseret segmentering af konventionelle højopløselige billede mht. segmentering i følgende kategorier: Udstyr i billedet, jord, stub, ukrudt, spildbyg/græs, ræddike og ukendt. Hung *et al.* (2014) præsenterer nok den case som kommer tættest på dronebaseret ukrudtsklassificering i forskellige ortofoto baseret på billeder optages i højder fra 5 til 30 meter svarende til 1.3 mm/pixel til 7.8 mm/pixel. Også her benyttes DL baserede algoritmer til ukrudtsklassificeringen.

Der er derfor mange aktiviteter indenfor ukrudtsgenkendelse/klassificering indenfor landbrugsafgrøder, og det vil være oplagt at undersøge om de mest lovende systemer kan anvendes på golfbaner.

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Push_broom_scanner

⁴ FP Engineering benytter et bi-spektralt push broom system til afgrøde/ukrudtsklassificering inde i rækkerne på højværdiafgrøder (<http://www.visionweeding.com/field-vision-system/>)

⁵ <http://www.teknologisk.dk/ydelser/deep-learning-robotter-kan-laere-som-nyfoedte/37138>

Allerede indsendte ansøgninger omkring ukrudt og golf-græsser

Der er allerede iværksat en række initiativer til at undersøge mulighederne for at anvende kamera monteret på drone og billedanalyse til at finde ukrudt på golfbaner. Projektet 'Droner og golf - greenkeeperens flyvende assistent' er et storskala forsøg/demonstrations projekt indsendt til 'Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundation (STERF)' d. 12. december 2016. Formålet med projektet er, *at undersøge mulighederne for at anvende droner indenfor driften og overvågningen af golfbaner*. Resultaterne skal på sigt være med til, at greenkeeperen kan få et bedre overblik over golfbanen og optimere sin behandling af banerne. Projektet fokuserer på bestemmelse af tidlig vandstress og udbredelse af ukrudt. Hypotesen er, at billeder (RGB og multispektrale billeder) kan bestemme eventuel vandstress, og finde ukrudt før det bliver synligt for greenkeeperen. Ansøgningen er derfor inspireret af Foschi (2009), Jiang (2007), Krum (2010), Stowell (2006) og Taghvaeian (2013) som alle arbejder med at teste anvendelsen af sensorer til at detektere tidlig vandstress i plænegræsser. I projektet deltager Viborg Golfklub, som er den eneste danske klub, som er miljøcertificeret hos 'Golf Environment Organisation'. Projektet er et étårigt projekt med et samlet budget på 80.000 DKK. Projektansøger er René Gislum, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Solvejg Kopp Mathiassen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet er ansøger på et projekt sendt til Miljøstyrelsen December 2016. Projektet har til formål at finde egnede pesticider til golfbaner, og beskriver de få midler, som er til rådighed pr. 1. januar 2017. Dansk Golf Union har kun meget få godkendte 'minor use registrations' - tribenuron-methyl i Express ST, Express SX og Nuance WG, og iodosulfuron i Hussar OD til rådighed efter 1. januar 2017. Det betyder, at der ikke er godkendte midler til bekæmpelse af f.eks. mælkebøtte og marguerit, hvilket er to arter, som er et stort problem på golfbaner.

Forslag til visionbaseret ukrudtsgenkendelse på golfbaner

Der er flere muligheder for at genkende ukrudt med computerbaserede visionsystemer. De to mest lovende muligheder er den hyper/multi spektral pixelbaserede og den tekstur-form baserede. Den spektralt baserede benytter som regel push broom princippet, og her er udfordringen at sammensy til et samlet billede, som har stor værdi, når en algoritme skal udvikles og valideres. Det er langt lettere at indsamle konventionelle Rød-Grøn-Blå (RGB) billeder med almindelige eller professionelle kameraer enten fra luften eller monteret på redskaber. Til RGB billeder benyttes som tidligere nævnt DL⁶, som benytter tekstur, form og farve i sin genkendelse af objekter. Det kræver meget omfattende træningssæt i form af anoterede billeder at træne algoritmen. Derfor er det langt lettere at benytte billeder på en form, som falder naturligt for mennesker at tolke, så et stort træningssæt hurtigt og effektivt kan opbygges af de arter, som forventes at forekomme⁷. Derfor vil de foreslåede visionsbaserede løsningsforslag tage udgangspunkt i konventionelle RGB billeder.

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning

⁷ GUDP projektet RoboWeedSupport er et godt eksempel inden for landbrugsområdet på træning af DL algoritmer til ukrudtsgenkendelse baseret på konventionelle RGB billeder (Rydahl et al. 2017).

Dronebaseret løsning

Benyttes en ortomosaic som basis, skal billederne optages med et ret stort overlap for at sikre en succesfuld sammensyning, hvilket vil sænke drones kapacitet voldsomt, hvis 35 til 70 hektar skal overflyves eksempelvis med 5 mm/pixel. Med en DJI Phantom 4 konsumer drone vil det kræve en flyvehøjde på ca. 10 meter. En sådan flyvehøjde vil kræve en aktiv højdemåler samt en detaljeret flyveplan. Det store problem er dog lovgivningen indenfor droneyvninger, hvor det ikke er tilladt af overflyve områder hvor et større antal mennesker er samlet i fri luft. Derfor må der ved førnævnte krav benyttes professionelle droneløsninger med redundans, RTK GNSS, styresystem og batterier, samt et højopløseligt kamera. Det kunne eksempelvis være en DJI Matrice 600 pro (<http://www.dji.com/matrice600-pro>) med et 100 Mpix kamera fra PhaseOne (http://industrial.phaseone.com/iXU_camera_system.aspx). Med et minimum af billedoverlap skal dronen stadig flyve i 50 m striber med ca 10 m/s. Eksklusive vendinger skal det førnævnte setup bruge knap 23 minutter for at kortlægge 70 ha. I praksis vil det kræve 1-2 batteriskift og tage under en time. Med et sådant setup på 5 mm/pixel og ud med udgangspunkt i Hung *et al.* (2014) må det forventes, at større ukrudt såsom marguerit og mælkebøtte kan identificeres. Herved kan et egentligt variabel sprøjtekort udarbejdes til sprøjten. DataMapper kunne være en mulig samarbejdspartner til en kommerciel udgave af et sådant system, da deres platform via et "algoritme marked" tilbyder at hoste tilpassede algoritmer til behandling af droneindsamlede billeder (Precisionhawk Inc. 2016). I 2017 påbegyndes innovationsfondsprojektet 'RoboWeedMaPS' i landbrugsregi, som vil have store dele af den nødvendige infrastruktur og knowhow til at danne sådanne variable herbicidtildelingskort (Landbrugsavisen.dk 22. december 2016; J. P. Jensen 23. December 2016). Hvis mindre ukrudt skal art bestemmes vil det kræver, at pixeltætheden hæves 5 - 10 gange. Det er muligt at tage billeder med drone med så høj pixeltæthed (Madsen et al. 2017; Jørgensen et al. 2016; Jørgensen, Madsen, and Laursen 2016), men den meget lave flyvehøjde og den resulterende eksponeringstid begrænser flyvehastigheden betydeligt. Derfor vil dronen ikke være den optimale løsning til genkendelse af småt ukrudt med kimblade eller 2 løvblade. Her viser erfaringer fra Aarhus Universitet, i samspil med eksempelvis Thorp og Tian's (2004) review, at der skal 1-4 pixel/mm til for at en robust genkendelse af det mindste kimbladsukrudt. Skal netop fremspiret græs kunne erkendes er det nødvendigt med 3-4 pixel/mm.

Redskabsbaseret løsning

Arbejdet på golfbaner er kendetegnet ved mange overkørsler med en græsklipper, og man kunne vælge at sætte et kamerasystem inklusive RTK-GNSS positionslogning på en græsklipper i stedet for en drone. Fordelen ved at anvende en redskabsbaseret løsning er, at man er uafhængig af vejret, samt at græsklipningen sker under alle omstændigheder, og man derfor ikke får en ekstra arbejdsgang, hvilket er tilfældet med en drone baseret løsning. En redskabsbaseret løsning er selvfølgelig langsommere til at samle data fra alle banerne sammenlignet med en dronebaseret løsning. Den store fordel ved en redskabsbaseret løsning er, at det er muligt at få billeder med 1-4 pixel/mm, som er nødvendigt for en robust genkendelse af det mindste ukrudt på kimbladsstadiet. Det sætter dog meget store krav til dataoverførsel og -opbevaring, da der genereres enorme datamængder, hvis billeder fra alle banerne skal behandles. Her vil det igen være tilrådeligt at samarbejde med innovationsfondsprojektet 'RoboWeedMaPS', som på sigt vil have store dele af den nødvendige infrastruktur og knowhow til at foreslå en brugbar løsning til golfbaner.

RoboWeedMaPS projektets kommercielle partner⁸ har ligeledes en målsætning om et realtidsbaseret kamerasystem således overførsel af de stor mængder billeddata overflødiggøres. H-Sensoren og det norske system fra DAT (se "Baggrund for projektet") må forventes at kunne tilpasses til den redskabsbaserede løsning, dog er det tvivlsomt om de vil være i stand til at optage med tilstrækkelig hastighed til at kunne affotografere hele det dækkede areal på en græsklipper, som klipper med hastigheder over 12 km/t⁹.

Konklusion

Der findes kun meget begrænset litteratur og undersøgelser omkring anvendelsen af billedanalyse på golfbaner med henblik på reduktion i pesticidforbruget og implementering af IPM. Man bør derfor udnytte den store ekspertise der findes i landbrugs forskningen og praksis i landbruget. Nærværende rapport beskriver to forslag; en drone og en redskabs baseret løsning. Forskellen på de to forslag er primært, hvad der skal bære kameraet, som skal tage billederne. Den efterfølgende billedbehandling er ikke forskellig fra de to løsningsforslag. Det er dog en vigtig pointe, at opsamling af billeder fra alle banerne i en golfklub vil genererer meget store datamængder, og vil kræve komplicerede algoritmer, før det endelige herbicid tildelingskort er udarbejdet. Det er derfor oplagt at afvente de første projektresultater fra f.eks. 'RoboWeedMaPS', hvor man netop skal arbejde med de samme problemstillinger. Men det er samtidig oplagt at få taget de første billeder fra udvalgte steder på en golfbane og teste de udviklede ukrudtsgenkendelsesalgoritmer i førnævnte projekt.

⁸ <http://www.agrointelli.com/>

⁹ Eksempel på klipper: <http://www.svenningsens.dk/produkter/golf/graesklippere/fairway/fairway-305>

Referencer

- Aamlid, Trygve S., Gudni Thorvaldsson, Frank Enger, and Trond Pettersen. 2012. "Turfgrass Species and Varieties for Integrated Pest Management of Scandinavian Putting Greens." *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science* 62 (sup1): 10–23.
- Bell, Gregory E., and Xi Xiong. 2008. "The History, Role, and Potential of Optical Sensing for Practical Turf Management." In *Handbook of Turfgrass Management and Physiology*, 641–60.
- Bremer, Dale J., Hyeonju Lee, Kemin Su, and Steven J. Keeley. 2011. "Relationships between Normalized Difference Vegetation Index and Visual Quality in Cool-Season Turfgrass: II. Factors Affecting NDVI and Its Component Reflectances." *Crop Science* 51. Madison, WI: The Crop Science Society of America, Inc.: 2219–27.
- Carrow, R. N., J. Krum, and C. Hartwiger. 2009. "Precision Turfgrass Management: A New Concept for Efficient Applications of Inputs." *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 8 (13): 1–12.
- Caturegli, Lisa, Marco Casucci, Filippo Lulli, Nicola Grossi, Monica Gaetani, Simone Magni, Enrico Bonari, and Marco Volterrani. 2015. "GeoEye-1 Satellite versus Ground-Based Multispectral Data for Estimating Nitrogen Status of Turfgrasses." *International Journal of Remote Sensing* 36 (8): 2238–51.
- Christensen, S., H. T. Søgaaard, P. Kudsk, M. Nørremark, I. Lund, E. S. Nadimi, and R. Jørgensen. 2009. "Site-Specific Weed Control Technologies." *Weed Research* 49 (3). Blackwell Publishing Ltd: 233–41.
- DAT. 2016. "Dimensions Agri Technologies (DAT)." *Dimensions Agri Technologies (DAT)*. Accessed December 20. <http://www.dimensionsagri.no/>.
- Ding, Ke, Amar Raheja, Subodh Bhandari, and Robert L. Green. 2016. "Application of Machine Learning for the Evaluation of Turfgrass Plots Using Aerial Images." In *SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging*, 98660I – 98660I – 13. International Society for Optics and Photonics.
- "Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 Establishing a Framework for Community Action to Achieve the Sustainable Use of pesticidesText with EEA Relevance." n.d. https://www.eppo.int/PPPRODUCTS/information/2009_0128_EU-e.pdf.
- Evert, Frits K. van, Joost Samsom, Gerrit Polder, Marcel Vijn, Hendrik-Jan van Dooren, Arjan Lamaker, Gerie Wam van der Heijden, Corné Kempenaar, Ton van der Zalm, and Lambertus A. P. Lotz. 2011. "A Robot to Detect and Control Broad-Leaved Dock (*Rumex Obtusifolius* L.) in Grassland." *Journal of Field Robotics* 28 (2). Wiley Online Library: 264–77.
- Feyaerts, Filip, P. Pollet, Luc J. Van Gool, and Patrick Wambacq. 1999a. "Hyperspectral Image Sensor for Weed-Selective Spraying." In *International Symposium on Photonics and Applications*, 193–203. International Society for Optics and Photonics.
- Feyaerts, Filip, P. Pollet, Luc Van Gool, and Patrick Wambacq. 1999b. "Vision System for Weed Detection Using Hyper-Spectral Imaging, Structural Field Information and Unsupervised Training Sample Collection." In *Proceedings 1999 Brighton Conference on Weeds*, 2:607–14.
- Foschi, F., Marco Volterrani, Nicola Grossi, and Sergio Miele. 2009. "Monitoring Relative Water Content in Turf with Canopy Spectral Reflectance." *Int. Turfgrass Soc. Res. J* 11: 765–78.
- Gebhardt, Steffen, Jürgen Schellberg, Reiner Lock, and Walter Kühbauch. 2006. "Identification of Broad-Leaved Dock (*Rumex Obtusifolius* L.) on Grassland by Means of Digital Image Processing." *Precision Agriculture* 7 (3). Springer US: 165–78.
- Gerhards, Roland. 2013. "Site-Specific Weed Control." In *Precision in Crop Farming*, 273–94. Springer

Netherlands.

- Gutjahr, C., M. Sökefeld, and R. Gerhards. 2012. "Evaluation of Two Patch Spraying Systems in Winter Wheat and Maize." *Weed Research* 52 (6). Blackwell Publishing Ltd: 510–19.
- Hung, Calvin, Zhe Xu, and Salah Sukkarieh. 2014. "Feature Learning Based Approach for Weed Classification Using High Resolution Aerial Images from a Digital Camera Mounted on a UAV." *Remote Sensing* 6 (12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 12037–54.
- Ishak, Asnor Juraiza, Aini Hussain, and Mohd Marzuki Mustafa. 2009/4. "Weed Image Classification Using Gabor Wavelet and Gradient Field Distribution." *Computers and Electronics in Agriculture* 66 (1): 53–61.
- Jensen, Anne Mette Dahl, Bente Mortensen, Moe Brødsgaard, and Klaus Paaske. 2012. "Pesticidforbrug Og Pesticidbelastning På Golfbaner." Miljøprojekt 1426. Miljøstyrelsen . <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2012/05/978-87-92903-16-7.pdf>.
- Jensen, Jørgen P. 23. December 2016. "Ny Teknik Skal Spare 75 Procent Af Sprøjtemidlet." *EffektivtLandbrug*
- Jiang, Yiwei, and Robert N. Carrow. 2007. "Broadband Spectral Reflectance Models of Turfgrass Species and Cultivars to Drought Stress." *Crop Science* 47 (4). Crop Science Society of America: 1611–18.
- Jørgensen, Rasmus Nyholm, Morten S. Laursen, Mads Dymann, and Robert Nøddebo Poulsen. 2016. *RoboWeedSupport - Weed Mapping with Drones Using a DJI Phantom 4*. Denmark: Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=yegTo2mw6GA>.
- Jørgensen, Rasmus Nyholm, Simon Leminen Madsen, and Morten Stiggaard Laursen. 2016. *RoboWeedSupport - Weed Mapping with Drones Using a DJI Matrice 100 with a Velodyne Lidar*. Youtube. Denmark: Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=91LaKHiHiDw>.
- Kreuser, B. 2015. "Hunting Hot Spots with FLIR. Turf Infor for the North Central US." <http://turf.unl.edu/turfinfo/Aug27%20Scouting%20Hotspots%20with%20FLIR.pdf>.
- Krum, J. M., R. N. Carrow, and K. Karnok. 2010. "Spatial Mapping of Complex Turfgrass Sites: Site-Specific Management Units and Protocols." *Crop Science* 50 (1). Crop Science Society of America: 301–15.
- Landbrugsavisen.dk. 22. december 2016. "Intelligent Kamera Skal Give Ukrudtet Det Rigtige Skud." *LandbrugsAvisen*. <http://landbrugsavisen.dk/mark/intelligent-kamera-skal-give-ukrudtet-det-rigtige-skud>.
- Laursen, M. S., R. N. Jørgensen, M. Dyrmann, and R. N. Poulsen. 2017. "RoboWeedSupport - Sub Millimeter Weed Image Acquisition in Cereal Crops with Speeds up till 50 Km/h." In *ECPA 2017 - 11th European Conference on Precision Agriculture*.
- Leithold, Hermann. 2016. *Digital Farming I Using WEED SENSORS for Efficient Weed Control*. Youtube. Bayer Crop Science. https://www.youtube.com/watch?v=AKUzv_MtR4Q.
- López-Bellido, Rafael J., Luis López-Bellido, Purificación Fernández-García, Juan M. López-Bellido, Verónica Muñoz-Romero, Pedro J. López-Bellido, and Sara Calvache. 2012/2. "Nitrogen Remote Diagnosis in a Creeping Bentgrass Golf Green." *European Journal of Agronomy: The Journal of the European Society for Agronomy* 37 (1): 23–30.
- Madsen, S. L., M. S. Laursen, R. N. Poulsen, and R. N. Jørgensen. 2017. "RoboWeedSupport - Semi-Automated UAS System for Cost Efficient High Resolution I Sub Millimeter Scale Acquisition of Weed Images." In *ECPA 2017 - 11th European Conference on Precision Agriculture*.
- Mortensen, A. K., R. Gislum, R. Larsen, and R. N. Jørgensen. 2015. "Estimation of above-Ground Dry Matter and Nitrogen Uptake in Catch Crops Using Images Acquired from an Octocopter." In *Precision Agriculture '15*, 127–34. wageningenacademic.com.
- Mortensen, Anders Krogh, Mads Dyrmann, Henrik Karstoft, Rasmus Nyholm Jørgensen, and René Gislum. 2016. "Semantic Segmentation of Mixed Crops Using Deep Convolutional Neural Network." In *CIGR 2016, World Congress*. forskningsdatabasen.dk.

- <http://www.forskningsdatabasen.dk/en/catalog/2307019371>.
- Mortensen, Anders Krogh, Karen Søgaard, and Rasmus Nyholm Jørgensen. 2014. "Bestemmelse Af Kløver- Og Græsandele I Kløvergræsmarker Ved Hjælp Af Billedanalyse." In *Oversigt over Landsforsoegene*, 357–58.
- Overskeid, Oyvind, Arne Hoeg, Sigmund Overeng, and Hein Olai Stavlund. 2013. System for controlled application of herbicides. USPTO 8454245. *US Patent*, filed July 7, 2006, and issued June 4, 2013. <https://www.google.com/patents/US8454245>.
- Pantazi, Xanthoula-Eirini, Dimitrios Moshou, and Cedric Bravo. 2016/6. "Active Learning System for Weed Species Recognition Based on Hyperspectral Sensing." *Biosystems Engineering* 146: 193–202.
- "Precision Agriculture." 2016. *Adigo AS*. Accessed December 13. <http://www.adigo.no/portfolio/presisjonsjordbruk/?lang=en>.
- Precisionhawk Inc. 2016. "DataMapper." *PLATFORM AGNOSTIC - Professional Drone Based Mapping and Analytics*. Accessed December 28. <https://www.datamapper.com/>.
- Rasmus Nyholm Jørgensen. 2016. *RoboWeedSupport - Indsamling Af Ukrudtsbilleder Med 60 Km/t På ATV Med Submilimeter Opløsning*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=ocx9tfbZ3CM>.
- Rydahl, P., N-P Jensen, M. Dyrmann, P. H. Nielsen, and R. N. Jørgensen. 2017. "RoboWeedSupport - Presentation of a Cloud Based System Bridging the Gap between in-Field Weed Inspections and Decision Support Systems." In *ECPA 2017 - 11th European Conference on Precision Agriculture*.
- Shaner, Dale L., and Hugh J. Beckie. 2014. "The Future for Weed Control and Technology." *Pest Management Science* 70 (9): 1329–39.
- Stowell, Larry, and Wendy Gelernter. 2006. "Sensing the Future." *Golf Course Management* 74 (3): 107–10.
- Syljuåsen, Espen. 2016. "Espen Syljuåsen." *Norsk Landbrug*.
- Taghvaeian, Saleh, José Chávez, Mary Hattendorf, and Mark Crookston. 2013. "Optical and Thermal Remote Sensing of Turfgrass Quality, Water Stress, and Water Use under Different Soil and Irrigation Treatments." *Remote Sensing* 5 (5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute: 2327–47.
- Tang, L., L. Tian, and B. L. Steward. 2003. "Classification of Broadleaf and Grass Weeds Using Gabor Wavelets and an Artificial Neural Network." *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*. elibrary.asabe.org. <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=13944>.
- Thorp, K. R., and L. F. Tian. 2004. "A Review on Remote Sensing of Weeds in Agriculture." *Precision Agriculture* 5 (5). Kluwer Academic Publishers: 477–508.
- Trengove, Sam. 2016. "Weed Mapping." *Developments & Demos*.
- Zhang, Yun, David C. Slaughter, and Erik S. Staab. 2012/4. "Robust Hyperspectral Vision-Based Classification for Multi-Season Weed Mapping." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing: Official Publication of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 69: 65–73.
- Zhang, Yun, Erik S. Staab, David C. Slaughter, D. Ken Giles, and Daniel Downey. 2012. "Automated Weed Control in Organic Row Crops Using Hyperspectral Species Identification and Thermal Micro-Dosing." *Crop Protection* 41 (November): 96–105.