

Rodvækst i vinterhvede ved tidlig og sen såning, og med eller uden DAP placeret ved såning

Rodudviklingen er vigtig for afgrøderne, da det er gennem rødderne plantens vand- og næringsstofoptag sker.

Planters rodnetværk er kilden til vand- og næringsstofoptag blandt andet kvælstof for afgrøden. Roddybden kan være en væsentlig faktor for afgrødens udnyttelse af kvælstoffet i jorden, og med et dybere og mere udbredt rodnetværk vil afgrøden kunne sondere en større jordpulje for vand og kvælstof (Ågren og Andersson, 2012). Det vides allerede, at tidlig såning af vinterhvede kan være en fordel da det medfører et øget udbytte. Tidlig såning kan dog også være mindre fordelagtig på grund af andre faktorer som sygdomme og skadedyr, som dermed kræver en øget indsats for bekæmpelse (Integreret Plantebeskyttelse, 2015), men det er ikke emnet i dette notat. I disse forsøg er formålet at undersøge, om tidlig såning af vinterhvede kan øge rodvæksten, og dermed øge vand- og kvælstofoptagelsen i planten.

Minirhizotroner

Rødder er en svær størrelse at observere og undersøge, da de udvikler sig under jordoverfladen. Der findes metoder til at undersøge rødder og deres udvikling, men de er ofte destruktive for planten. De destruktive metoder er en ulempe, hvis man efterfølgende vil undersøge andre faktorer, som for eksempel at følge røddernes udvikling uden at forstyrre planten, eller at måle udbytte. Her er brugen af minirhizotroner meget relevant da det er en ikke-destruktiv metode til at undersøge en plantes rødder.

Minirhizotroner er 2-3 m lange transparente plastikrør som bores ned i jorden. På denne måde kan man ved at fotografere plantens rødder gennem røret undersøge rodudviklingen gennem sæsonen. For at rørene kan komme i jorden, bliver der boret et 30 graders vinklet hul ind under planterne. Rørene skal etableres inden rodudviklingen for alvor begynder, hvor det forstyrrer rødderne mindst muligt. Et specialbygget kamera, påhæftet en kæde, bruges til at tage billeder i de aktuelle vækststadier. Det gøres ved at sænke kameraet ned gennem røret, og tage et billede for hver 5 cm indtil bunden af røret er nået.

Minirhizotronkameraet

Kameraet, der blev brugt, er et specialbygget RGB-kamera, der kan filme i minirhizotronrør. Det blev leveret af Videometer A/S. Ved at bruge et RGB-kamera, bliver minirhizotron-metoden mere tilgængelig for flere, der ønsker at undersøge rødder, da det er knap så dyrt som et multispektralt kamera, som også bliver brugt til minirhizotroner.

Convolutional Neural Network

Deep learning arkitekturer er en machine learning tilgang, betinget af træningsprocedurerne hvor et program fodret med rådata, automatisk opdager et mønster, som kan bruges til detektions- eller klassificeringsopgaver. Convolutional Neural Network (CNN) er en klasse af deep learning, hvor aflæsningsmekanismen er indkodet i parametrene i netværket, som kan opdateres uden brug af manuel programmering, men i stedet opdateres med eksempler for det ønskede output. Outputtet er derfor yderst afhængigt af kvaliteten af input.

CNN er en nyere metode, der kan bruges i kombination med minirhizotronrør, til at detektere rødder på billeder taget under jorden. Den kan bruges til almindelige RGB-billeder (Rød-Grøn-Blå), som er væsentlig mere udbredt, end dyrere multispektralekameraer, som også bruges til roddetektion. CNN erstatter line-intersect-metoden, som tit ender i en flaskehals når ønsket data skal aflæses fra billederne, da billederne manuelt skal aflæses med et cellegrid lagt hen over billederne. Det er tidskrævende, når billedantallet stiger, og kan tage 20 minutter pr. meter grid linje, hvilket kan hæmme brugen af minirhizotronrør til observering af rødder under jorden.

Forsøg

Der blev etableret fem forsøg i forsøgsserie 010231919 ved henholdsvis Holeby (001), Sønderborg (002), Bramstrup (003), Ringsted (004) og Århus (005). Forsøgene blev anlagt med småparcelteknik, i en 1. års vinterhvedemark, da det skulle være muligt at så tidligt. Designet er et split-plot og med fire gentagelser. Forsøget havde tre faktorer. Faktor 1 var gødning placeret ved såning, der var tre niveauer: Ingen gødning, 75 kg diammoniumfosfat (NP 18-20, DAP) og 65 kg Svovlsur ammoniak (NS 21-24). Faktor 2 var såtid: 1.-7. september med 200 spiredygtige frø pr. m² (Tidlig) og 20.-25. september med 350 spiredygtige frø pr. m² (Sen). Faktor 3 var sort: Sheriff eller Benchmark.

Der blev boret 24 minirhizotronrør ned i ekstra parceller der var anlagt til prøvetagning i tre (003, 004 og 005), af de fem forsøg. Der blev boret rør ned i udvalgte forsøgsled:

IA1: Sheriff (I), Tidlig (A), uden gødning (1)

IA2: Sheriff (I), Tidlig (A), med DAP (2)

IB1: Sheriff (I), Sen (B), uden gødning (1)

IB2: Sheriff (I), Sen (B), med DAP (2)

Ved Århus blev rørene ved en fejl boret ned i IA1, IIA1, IB1 og IIB1. Faktor II er Benchmark. I de to forsøg i Bramstrup og Ringsted er det således muligt at vurdere effekten af DAP og såtid på rodudviklingen, hvorimod det i Aarhus er effekten af sort og såtid, der undersøges.

Jordtyperne er JB3 for Bramstrup, JB6 for Ringsted og JB4 for Århus. I det følgende er det kun resultaterne af rodmålingerne der præsenteres, de øvrige resultater af alle fem forsøg er afrapporteret i Oversigten over Landsforsøgene 2019 side 53-54.

Statistik og analyser

Optælling af rodbillederne er foregået ved hjælp af et convolutional neuralt netværk (CNN) (Smith et al., 2019), og blev foretaget af Abraham George Smith ved Københavns Universitet. Netværket returnerer antal pixel rødder i billedet. Det kan oversættes til cm rødder pr. billede ved at kende billedets fysiske dimensioner, længde og bredde. Se funktionen nedenfor for.

$$\frac{\text{cm i billedets bredde}}{\text{pixel i billedets bredde}} * \text{Antal rod pixel i billedet}$$

Billedværdierne er herefter inddelt i 25 cm intervaller ned gennem jorden, hvor middelværdien er fundet for hver behandling ved de forskellige måledatoer. De er indsat i diagrammer med centerværdien for de 25 cm intervaller, 12,5 cm, 37,5 cm osv. Derudover er middelværdien og

±95%-konfidansinterval for maksimumsdybden af rødderne også fundet for hver behandling ved de forskellige måledatoer. De præsenterede data, er transformeret fra billederne taget i minirhizotronrør med 30° vinkel fra vertikal retning til faktisk jorddybde i vertikalretning.

Tidlig sået vinterhvede har normalt et større rodnetværk fra efteråret til hen på foråret end sen sået vinterhvede. Det skyldes, at vækstsæsonen er ca. tre uger længere på et vigtigt tidspunkt i efteråret, hvor jordtemperaturen og dermed væksten er aftagende. Placering af DAP ved såning, kan muligvis forbedre etableringen og øge den tidlige rodvækst pga. øget tilgængelighed af fosfor og kvælstof.

Der viste sig en del problemer med det brugte kamera. Problemet var at det bl.a. blev udsat for vand, hvilket systemet ikke kunne håndtere, og derfor enten kortsluttede eller fik fugt på indersiden af linsen, så filmning i rørene blev forhindret. Det har gjort, at der på en lokalitet, Ringsted (004), ikke er blevet filmet i, og der er blevet filmet færre gange end planlagt. Systemet virkede meget som et indendørs setup taget med udenfor. De problemer, som setup'et har givet, gør, at brugen af minirhizotroner og kameraet ikke fortsætter i forsøg i 2020, da omkostningerne contra billedeudbytte er for dårligt. Det er forventeligt at brugen af minirhizotroner kan genoptages, når setup'et er væsentlig forbedret, og tilpasset de forskellige forhold, som gør sig gældende i marken.

Resultater

Rodintensitet

Tidlig og sen såning

Bramstrup, figur 1

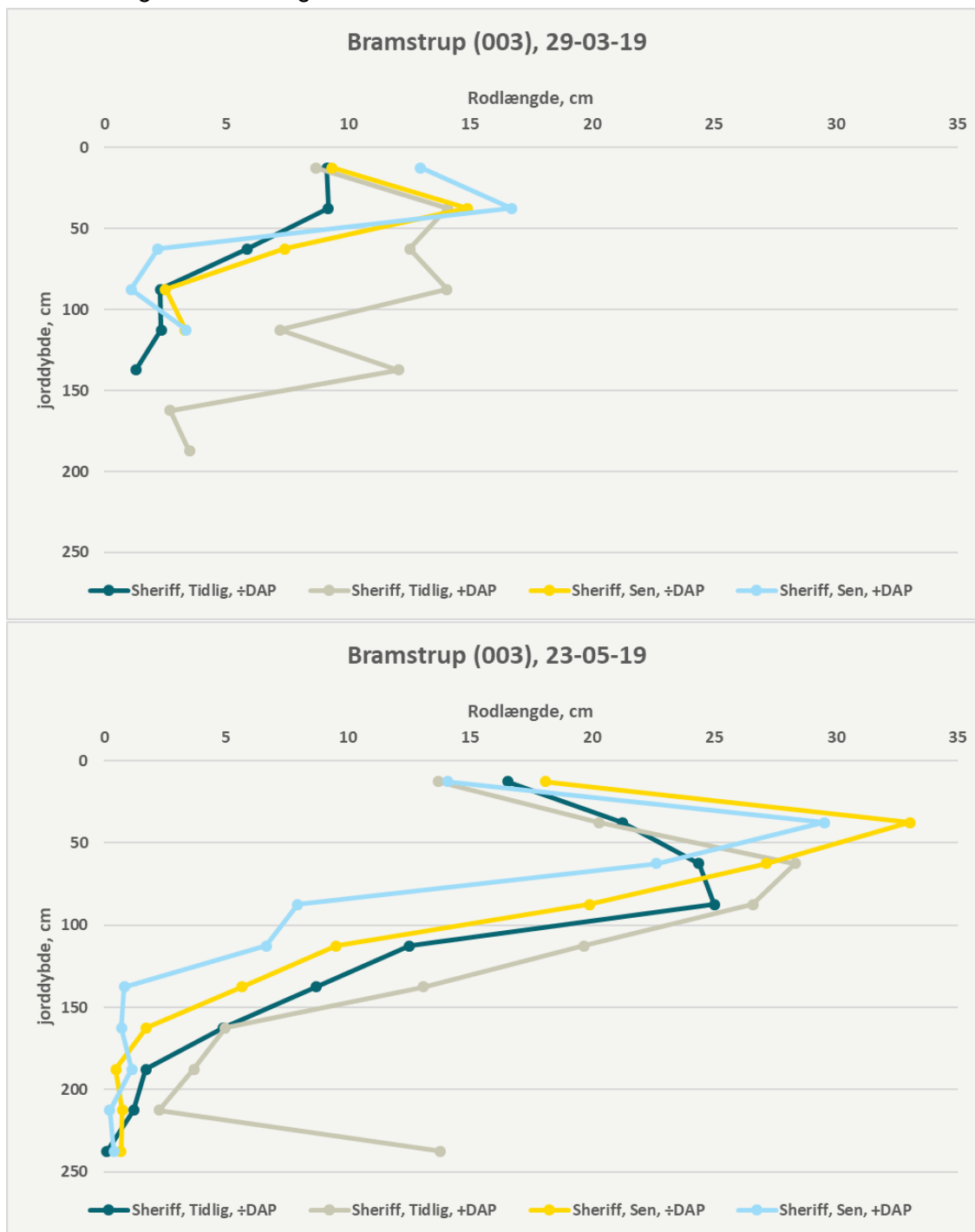
I forsøget ved Bramstrup er der taget billeder af rødderne den 29. marts og igen den 23. maj, resultaterne er vist på figur 1. I jordlaget 0-50cm var der en tendens til større rodintensitet ultimo marts ved sent sået vinterhvede, mens der i samme jordlag ultimo maj var væsentlig større rodintensitet ved sent sået vinterhvede. Fra 50cm og ned efter i jorden, var der på begge datoer en større rodintensitet i den tidligt såede vinterhvede. Der har ikke været filmet i tilstrækkelig stor dybde, da der stadig iagttages rødder på de dybeste billeder.

Århus, figur 2.

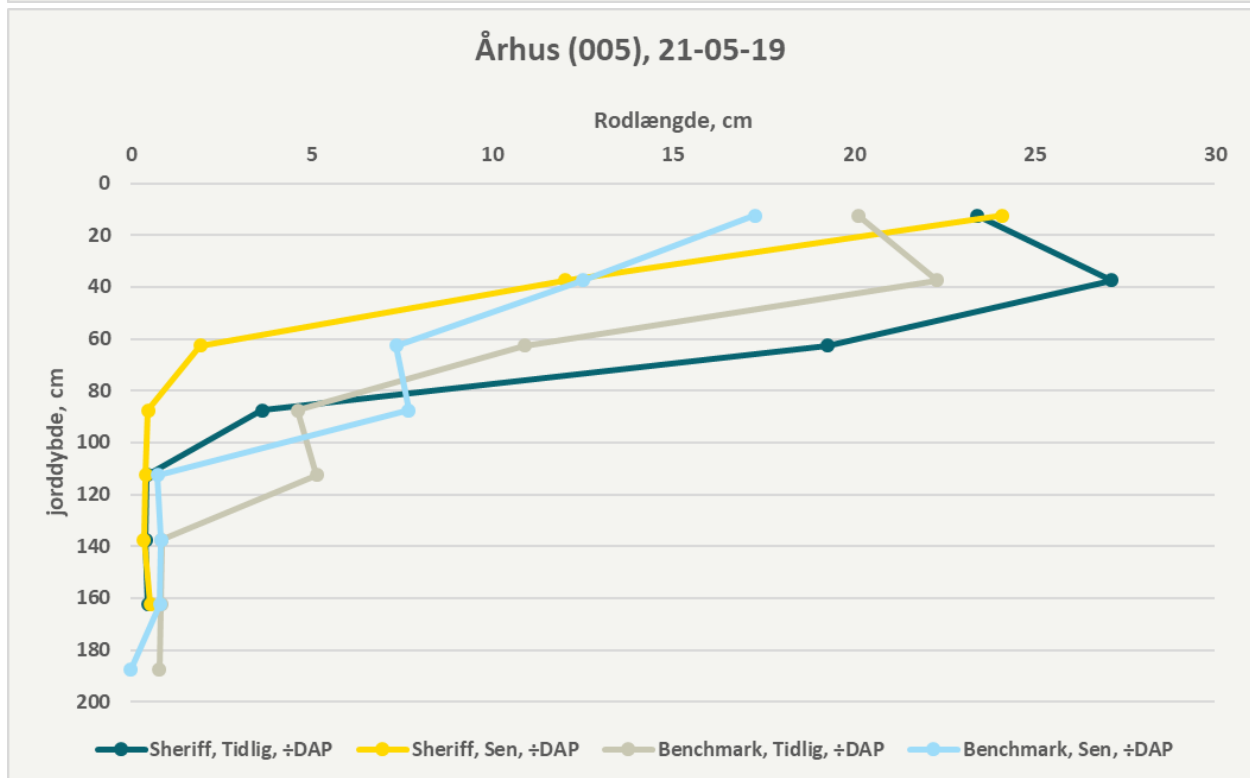
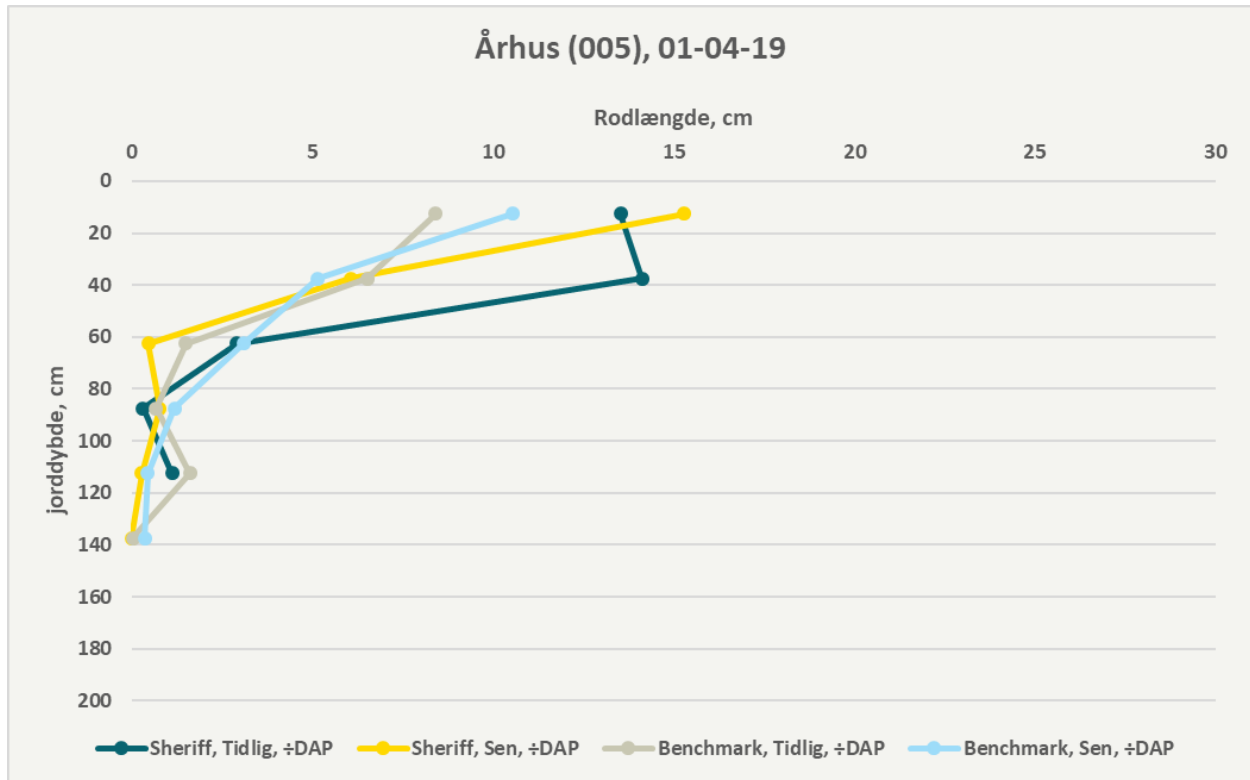
I forsøget ved Århus blev halvdelen af rørene fejlplaceret, det muliggør en sammenligning af rodvæksten i de to sorter ved tidlig og sen såning, mens effekten af DAP ikke kan undersøges.

Primo april var der ikke forskel mellem tidlig og sen såning for Benchmark, hvilket står i kontrast til medio maj, hvor tidlig såning havde en større rodintensitet fra 0 til 75 cm dybde. For Sheriff er der registreret betydelig flere rødder i 25 til 50 cm dybde ved den tidlige såning. Medio maj er der registreret væsentlig flere rødder i 25 til 75cm dybde ved den tidlige såning end ved den sene såning, i både Sheriff og Benchmark. Der er en tendens til at Sheriff har flere rødder i 25 til 50 cm end Benchmark ved den tidlige såning, hvorimod Benchmark har flest rødder ved sen såning. En forklaring kunne være at Sheriff gror meget langsomt i efteråret, især når den er sået sent.

Om det er tidlig såning eller sen såning der giver den højeste rodintensitet, giver Bramstrup og Århus forsøgene et modsigende resultat for.



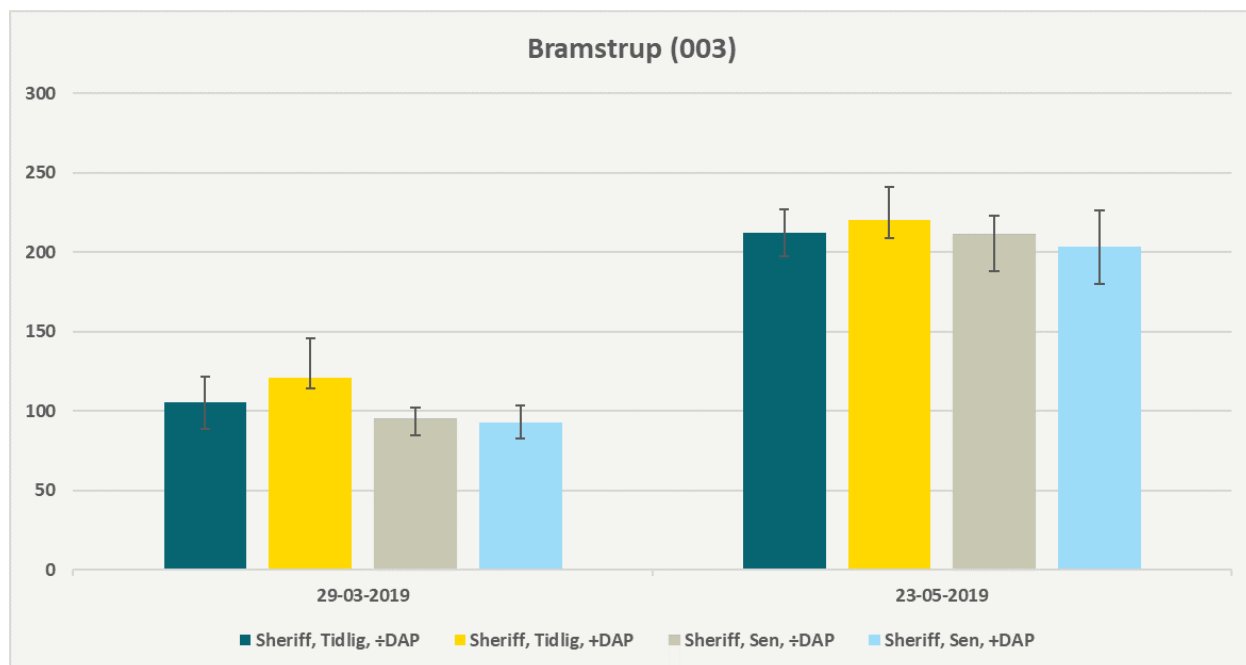
Figur 1. Udviklingen af rødderne for hver behandling ved Bramstrup for de to målinger; 29-03-2019 og 23-05-2019, ned gennem jordsøjlen. Data er udtrykt, som gennemsnit cm rod per billede i 25cm intervaller. Sorten var Sheriff. Såning var både tidlig og sen. Der blev også filmet ved ikke-tildelt DAP og tildelt DAP.



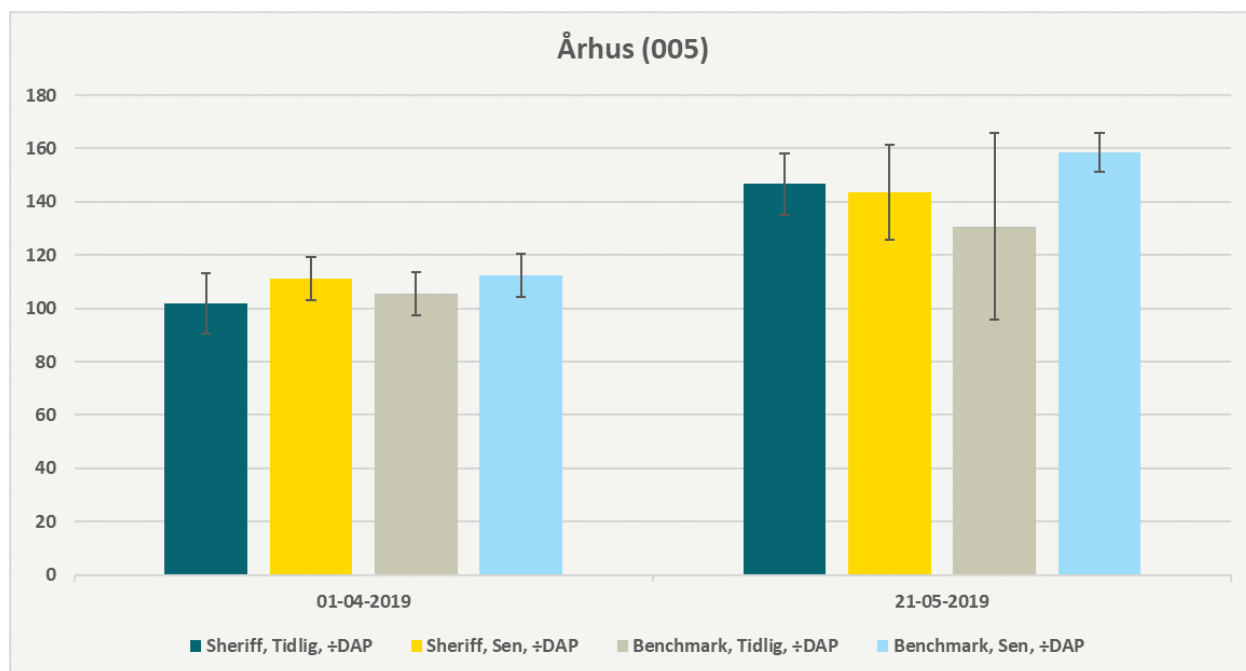
Figur 2. Udviklingen af rødderne for hver behandling ved Århus for de to målinger; 01-04-2019 og 21-05-2019, ned gennem jordsøjlen. Data er udtrykt, som gennemsnit cm rod per billede i 25cm intervaller. Sorten var Sheriff og Benchmark. Såning var både tidlig og sen. Der blev også filmet ved ikke-tildelt DAP og tildelt DAP.

Placering af 75 kg Diammoniumfosfat (DAP, NP 18-20) ved såning

Placering af DAP-gødning ved Bramstrup giver en større rodintensitet tidligt i foråret ved den tidlige såning, figur 1, mens der den 23. maj ikke er effekt DAP-gødningen. I forsøget ved Århus var alle minirhizotroner ved en fejl placeret i parceller der ikke modtog DAP ved såning



Figur 3. Maksimal roddybde for hver behandling ved Bramstrup for de to målinger; 29-03-2019 og 23-05-2019. Fejllinjerne er $\pm 95\%$ konfidensintervaller. Sorten var Sheriff. Såning var både tidlig og sen. Der blev også filmet ved ikke-tildelt DAP og tildelt DAP.



Figur 4. Maksimal roddybde for hver behandling ved Århus for de to målinger; 01-04-2019 og 21-05-2019. Fejllinjerne er $\pm 95\%$ konfidensintervaller. Sorterne var Sheriff og Benchmark. Såning var både tidlig og sen.

Maksimal roddybde

Tidlig og sen såning

Ved Bramstrup havde tidligt såede vinterhvede en større maksimal roddybde, end den sent såede vinterhvede, ultimo marts (figur 3). Ved den sene måling, ultimo maj, var der en tendens, til at tidlig sået vinterhvede stadig havde en større roddybde end den sene såning. Det samme gør sig ikke helt gældende ved Århus, hvor der ikke var forskel på roddybden mellem tidlig og sen såning.

Placering af 75 kg Diammoniumfosfat (DAP, NP 18-20) ved såning

Tildeling af DAP gav en tendens til dybere rødder d. 29. marts i den tidligt såede Sheriff ved Bramstrup, mens der d. 23. maj ikke var forskel på om der var tildelt DAP eller ej.

Sheriff og Benchmark

Der var ikke sikre forskelle mellem rodmålingerne i Sheriff og Benchmark i forsøget ved Århus.

Diskussion

Det er muligt, ved brug af minirhizotroner og CNN, at danne sig et overblik over rodintensiteten i jordsøjlen i vinterhvede udtrykt som cm rod per billede. Dog var der enkelte steder, hvor billederne skulle kigges efter manuelt. Et af stederne var Bramstrup, ultimo maj, med behandling: Sheriff, tidlig og +DAP gav det sidste interval 225-250cm et udslag, som skyldtes et enkelt billede med rigtig mange rødder. Billederne forinden, havde ikke mange rødder, hvilket også kan ses på kurvens forløb. Udtrykket kunne også ses ultimo marts.

Ved Bramstrup, som er en JB3 jord, giver tidlig såning af vinterhvede en større rodintensitet fra 50cm og ned, mens der ikke er nogen forskel i intervallerne 0-25cm og 25-50cm mellem tidlig og sen såning, ultimo marts, mens sen såning har en større rodintensitet i de samme jordlag i ultimo maj. Det var forventeligt, at tidlig såning, ville give en større rodintensitet end sen såning, hvilket også til dels er tilfældet i forsøget ved Bramstrup fra 50cm og nedefter. Rasmussen og Thorup-Kristensen (2016) konkluderer at vinterhvederødder ved sen såning udvikler sig efter blomstring, men at de ikke når en intensitet og dybde, som tidlig såning kan give. Det kan relateres til resultaterne i forsøget ved Bramstrup, hvor tidlig såning giver en højere rodintensitet i dybere jordlag og ligeledes en større roddybde. I forsøget ved Århus har tidlig såning også en højere rodintensitet ved de mellemliggende intervaller, 25-50cm og 50-75cm, mens den maksimale roddybde ikke er påvirket af sådatoen.

Tildeling af DAP-gødningen, giver en større rodintensitet i det tidlige forår i de øverste jordlag for både den tidlige og sene såning, ned til 50 cm for Sheriff, mens den sent sået også giver en effekt længere ned endnu. Ultimo maj ses der ikke forskel mellem parcellerne som er tildelt og ikke tildelt DAP. Den maksimale roddybde er ikke påvirket af placeringen af DAP

Sortsforskelle kunne undersøges i forsøget ved Århus, da minirhizotronerne sad i både Sheriff og Benchmark parceller. Der var ikke nogen klar forskel mellem de to sorter, med undtagelse af en større rodintensitet hos Sheriff primo april.

Konklusion

CNN viste sig at være en effektiv metode til at analysere rødder på billeder fra minirhizotroner. Det gav sig til udtryk på forskellig vis ved Bramstrup og Århus, da tidlig såning gav en større rodintensitet i de dybere jordlag ved Bramstrup, mens det ved Århus var de øvre jordlag. Og det gjorde sig gældende for både den tidlige og sene rodmåling. DAP-gødning gav en lille forskel i øget rodintensitet primo april ved Århus.

Der var ikke forskel på maksimal roddebyde mellem sen eller tidlig sået, Sheriff eller Benchmark. DAP-gødningen gav, i kombination med tidlig såning, en dybere rod, ved den første måledato ved Bramstrup, og en tendens ved Århus.

Litteraturliste

Dai, X., Xiao, L., Jia, D., Kong, H., Wang, Y., Li, C. and Zhang, Y. 2014. Increased plant density of winter wheat can enhance nitrogen-uptake from deep soil. *Plant Soil* 384: 141-152.

Integreret Plantebeskyttelse (Juni 2015). Fordele og ulemper ved tidlig såning af vintersæd. Seges.

Rasmussen, I. S. 2015. Winter wheat root growth and nitrogen relations. PhD thesis. University of Copenhagen.

Rasmussen, I. S. Dresbøll, D. B. and Thorup-Kristensen, K. 2015. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization – effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *Europ. J. Agronomy* 68:38-49

Rasmussen, I. S. and Thorup-Kristensen, K. 2016. Does earlier sowing of winter wheat improve root growth and N uptake? *Field Crops Research* 196:10-21

Ågren, G. and Andersson, F. (2012). *Terrestrial ecosystem ecology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Rasmussen, I. S. & Thorup-Kristensen, K. 2016. Does earlier sowing of winter wheat improve root growth and N uptake? *Field Crops Research*, 196, 10-21.

Smith, A. G., Petersen, J., Selvan, R. & Rasmussen, C. R. 2019. Segmentation of Roots in Soil with U-Net.