



FAUPE – Forbedring af Afgrødernes Udbytte og Produktionsmæssige Egenskaber

Financeret af promilleafgiftsfonden

Forsøg og resultater fra screening af bladmateriale i markforsøg og i RadiMax

2015 og 2016

Af

**Jesper Svensgaard
Signe Marie Jensen
Jesper Cairo Westergaard
Svend Christensen**

**Institut for Plante- og Miljøvidenskab
Højbakkegaard Allé 13
2630 Taastrup**

Udvalgte resultater fra marken 2015-2016 samt resultater fra RadiMax 2016

Overordnede formål

Formålet var konkret at belyse, hvordan studier med kamerateknologier og ikke destruktiv måling på skuddet fra spirring til skridning og frem til blomstring kunne bruges til at drage paralleller mellem vækstdynamikker og det indflydelse på NUE i den vegetative del af væksten. Herved at belyse hvilken metodisk vinding det vil være at inddrage sådanne screeninger i FAUPE sammenhæng. Ydermere skulle det som afledt effekt af 2015 og 2016 resultaterne belyses, hvordan skuddet kan screenes i den sene del af væksten fra kernefyldning til afmodning, for at se sammenhænge mellem rodstudier og responsen på tørke og sen optag af kvælstof. Med hensyn til tørkescreening blev anlægget RadiMax inddraget i 2016, da metoder til screening af biomassens tørkerespons her har stor interesse.

De simpleste og mest effektive metoder skal udpeges og udvikles, og en del af procedurerne har været og vil være at beskrive metoderne, lave protokoller for optimal benyttelse og forsøgsdesign samt analyse og statistisk tilgang til data, så de mest simple og fortolkbare parametre kan udtrækkes og bruges i screeningsarbejdet.

Denne rapport vil fremstille nogle af måleresultaterne der illustrerer, at de testede metoder baseret på droner har potentiale til at kvantificere biomassedynamikker troværdigt og anvendeligt for herved at kunne inkludere variationer i marken til at styrke de endelige fortolkninger af resultaterne. Datagrundlaget i FAUPE er så omfattende, at grundlaget for i fremtiden at sammenbinde roddynamikker med skuddynamikker kan studeres tæt. Dette er for omfattende til denne rapport, men vil danne del-grundlag for arbejdet der finder sted i RadiMax og FAUPE 2 fremadrettet.

Resultaterne i nærværende rapport er for 2015-2016. Resultater for 2014 blev præsenteret i delrapporter (2015) lagt på SEGES hjemmeside for projekter under Promilleafgiftsfonden. Læs her: https://projekter.vfl.dk/Projekter/Promilleafgiftsfonden/2015/forbeding_afgroedernes_udbytte_faupe_3175/Sider/KoebenhavnsUniversitet.aspx

Indledning

Der ofres i dag en del ressourcer på at karakterisere plantens overjordiske træk som en del af forædlingsarbejdet. Det være sig bedømmelser af plantens overvintringsevne, mangel på specifikke næringsstoffer (eks manganmangel i byg), modtagelighed for specifikke sygdomme, tørkestress og andre væsentlige produktionsmæssige træk. Men dette er en tidskrævende opgave, og det er en opgave der ikke kan varetages spredt ud over hele plantens vækstperiode. Derfor er der ofte en "black box" vedrørende plantens dynamiske udvikling fra den har etableret sig til den er moden. I FAUPE er det især interessant at undersøge, hvilke mønstre der er for bladmassens dynamiske udvikling, hvad betydning kan det have for plantens evne til at optage eks kvælstof over sæsonen, og hvad mulighederne er for at screene tørkerespons i bladmassen sammenholdt med studierne af rodaktivitet og roddybde fra skridning frem til afmodning. Der er artikler der har påvist at tidlig

vigor¹ og tidlig rodvækst under visse dyrkningsforhold er fordelagtigt for forbedret tidlig $N_{UP}E^2$ (Nitrogen Uptake Efficiency) i hvedesorter (Liao et al., 2004; Liao et al., 2006; Pang et al., 2014) og bygsorter (Han et al., 2015). Sidstnævnte taler for, at tidlig vigor, ekstensivt rodsystem og tidligt kvælstofoptag er en vigtig egenskab i kombination med egenskaber for effektiv refordeling af kvælstof og kulstofassimilater til kernerne i den reproduktive fase. Ifølge Bingham et al. (2012) er akkumulering af kvælstof og tørstof før blomstring en vigtig parameter for afgrødens $N_{UP}E$. Der er dog ikke en entydig sammenhæng mellem early vigor og NUE, og perioden fra skridning/blomstring frem til modenhed er også overordentlig vigtig i forhold til NUE. Derfor er det ønskeligt at have et system der non-destruktivt kan kvantificere biomassens udvikling over en sæson.

Ergo vil det være fordelagtigt at kunne screene rod men også canopy udvikling over en hel sæson med henblik på studier af kvælstofdynamikker relativt til biomasse akkumulering frem til blomstring og fra blomstring til endelig udbytte. Biomasse høst til understøttelse af dette er arbejdstung, men der gode værktøjer til nondestruktivt at estimere bladmassen relativt og dens respons på kvælstofoptag, eks via bladdække frem til afgrødens strækning (Kipp et al., 2014). Simple målinger af Vegetation Indekser såsom *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) (Tucker, 1979) har vist sig effektive til relativt at kvantificere biomasse, biomassevækst og simpel biokemisk indhold i både kartofler (Ray et al. 2010) og hvede sorter (Cabrera-Bosquet et al. 2011). Nguyen et al (2016) påviste potentialer i at bruge simple vækstindekser ved skridning i hvede til at forstå NUE med lovende resultater til følge. Samme teknik er blevet brugt til at rate for efterårsvækst i rajgræs med henblik på overvintring (Helgadóttir et al. 2013), så det er en velkendt tilgang på mange områder. Indtil afgrøden lukker sig er der forventeligt en god korrelation mellem *NDVI* og biomasse, hhv. kvælstofindhold da *NDVI* afspejler biomassens klorofyl indhold der igen korrelerer med kvælstof

Stressrespons som følge af tørke er en anden parameter, der kan måles ikke-destruktivt og som derfor blev studeret i FAUPE direkte relateret til RadiMax anlægget. I deres review beskriver Gago et al. (2015) at både RGB kameraer, spektrale kameraer, termiske kameraer med flere er blevet testet af til at detektere tørke samt screene for tørke i afgrøder via drone. Og generelt viser især termisk men også visse vegetationsindeks sig potente til at detektere tørkestress respons på bladene før det er synligt.

I 2014 og 2015 var hovedformålet at undersøge multispektral billedtagning til karakterisering af bladudviklingen i de sorter af byg der var lagt ud i markforsøg. Målet var at teste en multispektral billedplatform – PhenoField – (Svensgaard et al., 2013) i hvedeforsøg (2015) og bygforsøg (2014 + 2015), få erfaringer med *NDVI* til estimering af biomasse tilvækst, dynamik og kvælstofoptag før blomstring, samt skabe grobund for non-destruktiv estimering af vækstdynamikker, responser på tørke og relationerne til samtidige rodmålinger. Oprindeligt var ideen at benytte PhenoField til billedtagning som et præcist værktøj i plotforsøg. I 2015 blev det vurderet, at PhenoField i FAUPE regi skulle fungere som referencen for biomassemålinger på jorden, og at droner med simple RGB kamera (Rød, Grøn, Blå; farvekamera) skulle testes i 2015 og inkluderes i større omfang i 2016, som det værktøj der skal bruges til at screene væksten af canopy hen over sæsonen og ved perioder med tørke. Det bl.a. fordi simple vegetationsindeks via RGB kameraer på droner har vist potentiale til at beskrive biomasse relativt på højde med mere sofistikerede systemer såsom PhenoField (Rasmussen et al., 2015). Dette er bl.a. vegetationdsindekset *Excess Green Indeks* (Rasmussen et al., 2015; Woebbecke et al., 1995). Derfor blev dronerne introduceret i 2015 og brugen samt setup omkring dem blev en vigtig integreret del af FAUPE i 2016. Desuden vinder droner med forskellige setup

¹ Den tidlige vækst, her kaldet early vigor. Spirring, bladudvikling og buskning samlet set.

² Se nærmere definitioner på $N_{UP}E$ i kort afrapportering: ” Markforsøg generelt – arbejdsplan 1 og 3, 2014 - 2016”

mere og mere indpas som værktøj til at supplere i forædlingsarbejdet. Læs her bl.a. Sankaran et al. (2015)

Til tørkerespons er en række indekser og metoder som nævnt testet af allerede, og baseret herpå blev RGB og termisk billedtagning fra drone testet af i RadiMax i 2016. Mestendels for at se hvad der er af muligheder i metoderne, samt for at få føling med, hvad det vil kræve af setup for at tage billederne og hive informationer ud af billederne.

Metoder og forsøg

Biomasse estimererne på jorden blev i 2015 samt 2016 estimeret via vegetationsindekset NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) som er et matematisk indeksforhold mellem reflekteret rød stråling og reflekteret nærinfrarød stråling fra plantens og jordens overflade: $NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$ (Tucker, 1979). Multispektral imaging blev testet af som udgangspunkt for karakterisering af sortsforskelle gennem bl.a. NDVI. Den multispektrale platform PhenoField er et lukket boks setup med egen multispektral lyskilde, hvorved præcise målinger uden lys- og vind forstyrrelser udefra kombineret med højt opløselige billeder giver mulighed for at karakterisere afgrødens biomasse dynamisk (figur 1). Det var med disse målinger at NDVI blev bestemt hen over en række måleserier fra fremspирring til afgrødelukning. NDVI blev beregnet som

$$NDVI = (850 \text{ nm} - 660 \text{ nm}) / (850 \text{ nm} + 660 \text{ nm}).$$

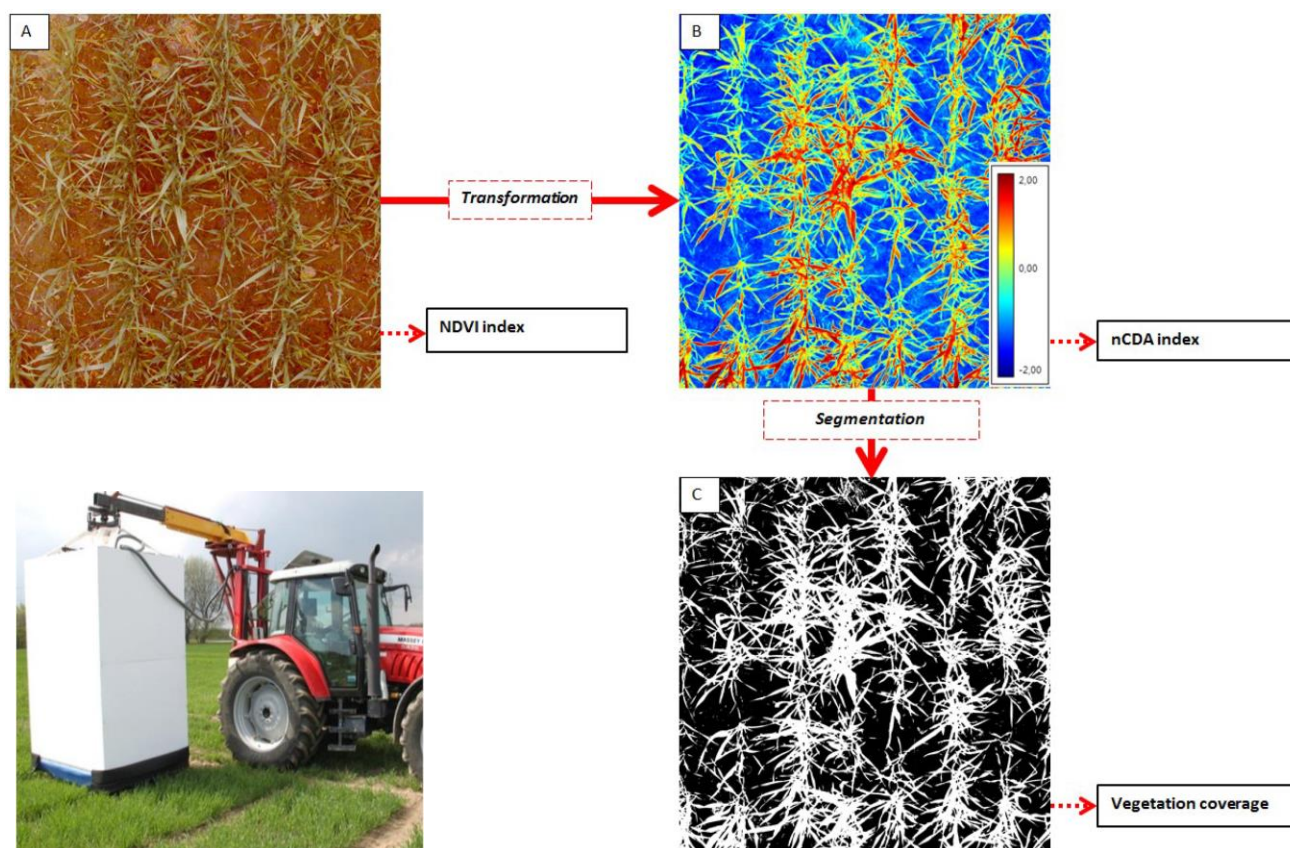
Hvert billede dækker 1 * 1 meter. (figur 9). Ydermere blev Vegetations Indekset Excess Green Index (ExG) inkluderet i 2015 og 2016. Dette indeks er baseret på RGB billeder af forsøgene som i 2015 og 2016 blev taget via drone og indeks beregnet som

$ExG = (2G - R - B)/(G + R + B)$, hvor R, G og B er pixelværdier i henholdsvis den røde, grønne og blå kanal i farvekameraet.

Donebillederne blev taget i ca. 15 meters højde med stor overlap hen over forsøgene, og disse billeder blev derpå stichet sammen til en såkaldt ortomosaik i det kommercielle software Pix4D (Se appendiks A). Via et udviklings-software, blev de relevante delplots i forsøget skåret ud, og ExG blev beregnet for disse delplots. Delplots fra ortomosaikker til udklip modsvarede de delplots, der blev målt med PhenoField, og herved kunne der laves direkte sammenligninger.

Desuden blev der taget dronebilleder via RGB i RadiMax i 2016 med fokus på hveden. Igen i 15 meters højde, billeder blev stichet til ortomosaik (Appendiks A), men herefter blev 150 rækker klippet ud, repræsenterende en afgrøderække for hver af de 150 minirhizotronrør. Hver række blev herpå analyseret i udviklet algoritme i programmet MatLab, hvorved det var muligt at udtrække den kontinuerede ExG værdi hen gennem rækken og herved udtrække den enkelte rækkes ExG profil og variation.

Termisk billedtagning blev ganske kort testet af i RadiMax i 2016 i ligeså for at få visuelt blik for, hvad man kan se på sådanne fotos. Dette blev klaret med en ekstern drone.



Figur 1: Multispektral imaging platform PhenoField, multispektral billede (A) hvorfra NDVI beregnes, transformeringsprocedure (B) for at lave binært billede (C) hvorfra afgrødedække kan beregnes simpelt.

2015 markforsøg

Et split-plot forsøg med vårbyg markforsøg³ blev brugt til studierne med 2 N-niveauer (70 kg N/ha og 140 kg N/ha) og 6 sorter. PhenoField blev benyttet til estimering af vegetationsindekset NDVI i forsøget. Frekvensen for billedtagning blev øget til 9 gang mellem BBCH 11 til BBCH 34 hvor NDVI går i mætning. Igen blev der taget 3 billeder per plot indtil BBCH 32. Her blev midterste billedfelt klippet til biomasseundersøgelse, og derfor er målingerne efter BBCH 32 kun foretaget 2 steder i hvert plot. Der blev foretaget biomasseklip ved BBCH 32 og 69 som ground truthing. Ydermere blev der inkluderet få centrale flyvninger med droner med simpelt RGB kamera setup og beregning af Exess Green Indeks.

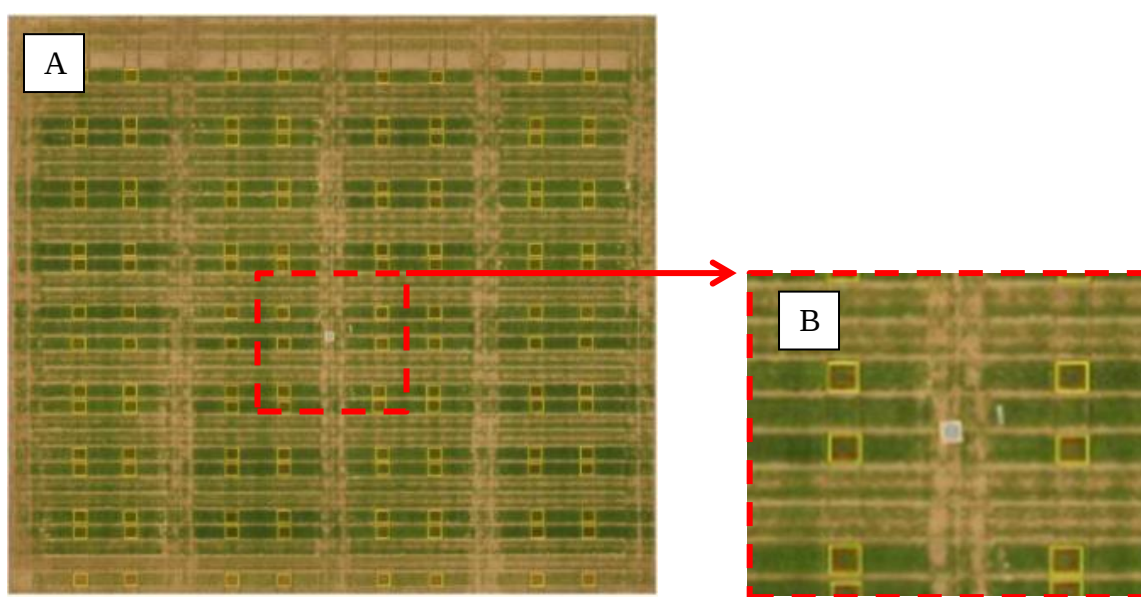
Dynamiske vækstkurver baseret på NDVI målingerne vil blive undersøgt som potentielt værktøj til at differentiere mellem de 6 vårbyg sorter hvad angår vækst fra fremspiring til afgrøden lukker ved strækning og kvantificere vækstrater, maksimal vækst og forskelle i biomassevækst over de 2 kvælstofniveauer. Ydermere er sigtet at estimere relevante parametre for væksten ved hjælp af biomassedata og relatere disse til biomasseklip og målinger foretaget ved BBCH 32, 69 og ved høst. Alle modelberegninger for non-linear vækst samt den generelle statistik blev lavet i statistikprogrammet R.

³ Se nærmere beskrivelse af markforsøgene i 2014 til 2016 i kort afrapportering: "Markforsøg generelt – arbejdsplan 1 og 3, 2014 - 2016"

2016 markforsøg

Vårbyg split-plot forsøget blev gentaget, blot med udskiftning af nogle sorter. Der blev udført 12 målekampanjer med PhenoField mellem BBCH 11 til BBCH 69, her dog kun i 2 subplots per plot. Formålet var det samme som i 2015, dog med billeder lidt længere hen i sæsonen. Dronerne blev inkluderet i højere grad i 2016, hvor dronebilleder blev udtrukket i samme subplots som PhenoField målinger, således at du kunne blive sammenlignet for at validere dronens potentiale. De sammenligninger der præsenteres senere i denne rapport bygger på målinger med PhenoField og dronen foretaget på samme dag. Figur 2 herunder illustrerer måleprincipperne i 2016. Strategi for klip af biomasse og høst samt planteanalyser var den samme som for 2015. Alle modelberegninger for non-linear vækst samt den generelle statistik blev lavet i statistikprogrammet R.

Ydermere blev hvedeforsøget med 6 sorter i 4 blok randomiseret markforsøg³ inkluderet med droneoverflyvninger, således at dronens potentiale til at estimere biomassedynamik og variation kunne testes op mod endeligt hvede udbytte.



Figur 2: Vårbyg forsøg anno 2016. I hvert plot er der to markeringer i form af gule firkanter (A) med zoom på nogle af dem (B). Hver firkant er et måleområde for hhv. PhenoField og drone, således så der fra hver plot er $2 \times 1 \text{ m}^2$ billedmateriale hvorfra hhv. NDVI og ExG beregnes repræsentativt for plottet. Ydermere kan ExG og NDVI sammenholdes for validering af dronen op mod PhenoField.

RadiMax hvedeforsøget i grav nummer 1 blev brugt til overflyvning med droner hen over sæson. RGB billeder blev taget fra luften på en specifik dag, omdannet til ortomosaik, og hver enkelt række blev klippet ud og analyseret for estimering af ExG, der via algoritme i et MatLab software blev relateret til afstand hen gennem rækken. Endelig blev der også foretaget en overflyvning med et termisk kamera samme dag.

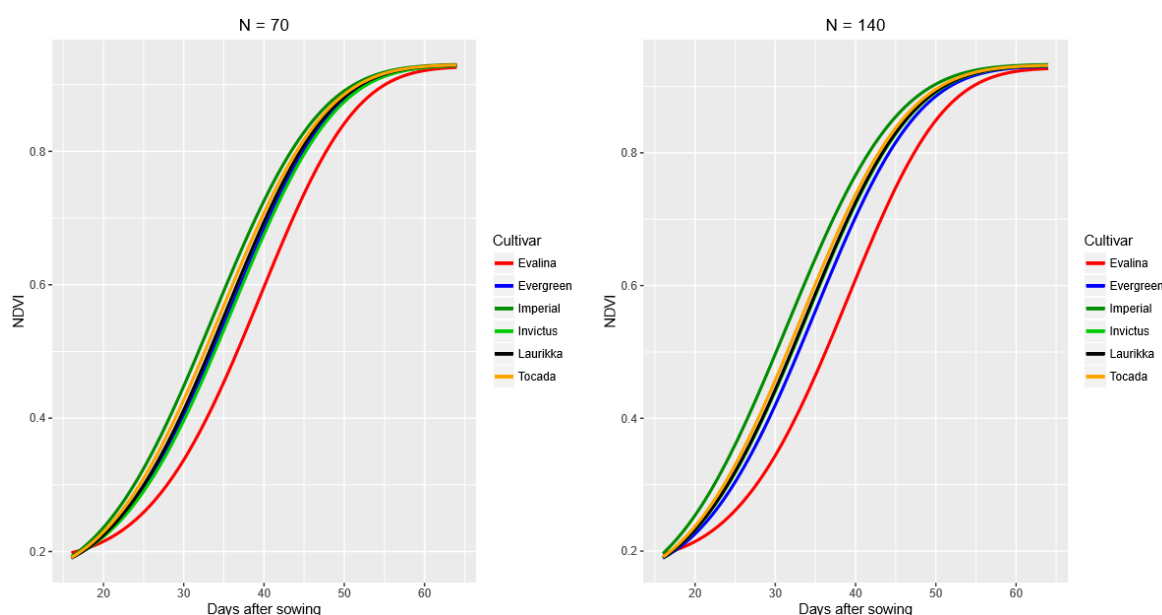
Resultater og diskussion

2015 udvalgte resultater fra markforsøg

I 2015 blev der lavet en mere frekvent estimering af biomasse fra fremspiring til afgrødelukning, igen med NDVI som udgangspunkt og med PhenoField platformen til indsamling af data. Resultatet fremgår af figur 3 herunder.

Som det ses af figuren, er der forskelle i de forskellige sorters vækstrater over tiden efter såning af planterne. Det ses, at der 21 DAS (Dage Efter Såning) er små forskelle i sorternes relative biomasse, mens denne forskel bliver udpræget og stiger 27 DAS.

Fra 31 DAS og frem til NDVI måtning er der klare og entydige tendenser til, at sorter udvikler sig forskelligt i den relative biomasse. Dette ses også af tabel 1, der illustrerer, hvilke signifikante forskelle der er i hhv. vækstparameteren α , som er hældning af vækstkurven, hvor den er stejlest (i vendetangent), samt tidspunkt (DAS) for, hvornår vækstkurven er 50 % fra sit maks. niveau, her betegnet β . Sorten Evalina har den langsomste vækstrate α , mens Imperial, generelt ligger højest (figur 3). Statistisk er der signifikante forskelle på α og β for sorterne Imperial, Tocada og Evalina der adskiller sig signifikant fra de resterende 3 sorter der ikke er signifikant forskellige indbyrdes. Kvælstofniveau har også signifikant betydning for de nævnte parametre.



Figur 3 Dynamisk vækst i NDVI (relativ biomasse) for 6 vårbyg sorter ved 2 kvælstofniveauer. DAS = Dage Efter Såning.

Tabel 1: Vækstparametre for 6 vårbygssorter baseret på dynamiske vækstkurver. Vækstparameteren α betegner maksimal vækstrate som er hældning af vækstkurve, hvor den er stejlest (i vendetangent). Parameter β er tidspunkt (DAS = Dage Efter Såning) for, hvornår vækstkurven er halvvejs fra sit maks. niveau. Bogstaverne for hhv. α og β kolonnerne angiver statistiske signifikante forskelle i de 2 parametre sorterne imellem. Nederst angivet om effekten af kvælstof (N) har signifikant betydning for hhv. α og β (*=signifikant forskel mellem niveauer)

2015		α : Maksimal vækst (hældning i vendetangent)	β : Tid efter såning (DAS), hvor vækst er maksimal (tid for vendetangent)
Cultivar	Evalina	c	c
	Evergreen	b	b
	Imperial	a	c
	Invictus	b	b
	Laurikka	b	b
	Tocada	ab	ab
N		*	*

Det er her interessant at undersøge, hvad der kan udtrækkes af viden fra vækstkurverne (figur 3 og tabel 1) i forhold til kvælstofoptag og biomasse. Dette er undersøgt i tabel 2, der viser sammenhænge

mellem parametre i vækstkurve op mod biomasseklip, hvor sorterne stod med 2 knæ i strækingsfasen (BBCH 32). Data for selvsamme sammenligninger om mod klip i BBCH 69 og ved modenhed vises ikke her.

Generelt viser tabel 2, at estimat af biomasse ved BBCH 32 baseret på enkeltmåling samme dag som biomasseklip, her 1) *NDVI*, har fornuftig korrelation med faktisk biomasse ($R^2=0.6$) men at dette forbedres ved at bruge en parameter fra vækstkurven såsom 2) *NDVI AUC* (*NDVI* beregnet som det integrerede areal under en vækstkurve) eller vækstparameter α og β ($R^2=0.62-0.65$). Også modellens evne til at prædiktere, hvor blok 1, 2 og 3 blev brugt som statistisk udgangspunkt for at prædiktere blok 4, er bedre ved brug af vækstkurverne (jf. lavere værdier for AIC i tabel 2, som er mål for relativ kvalitet af statistisk model; bedste model er den med laveste værdi for AIC).

NDVI-estimat for % kvælstof i biomassen ved BBCH 32 forbedres også via parametrene fra vækstkurven; se især den noget lavere AIC når der gås fra enkeltmålt *NDVI* over til parameter fra vækstkurven. Ergo er der muligheder i vækstkurverne både for at skelne sorternes vækst på en nuanceret måde, samt hente info om og prædiktere biomasse og kvælstof i biomasse.

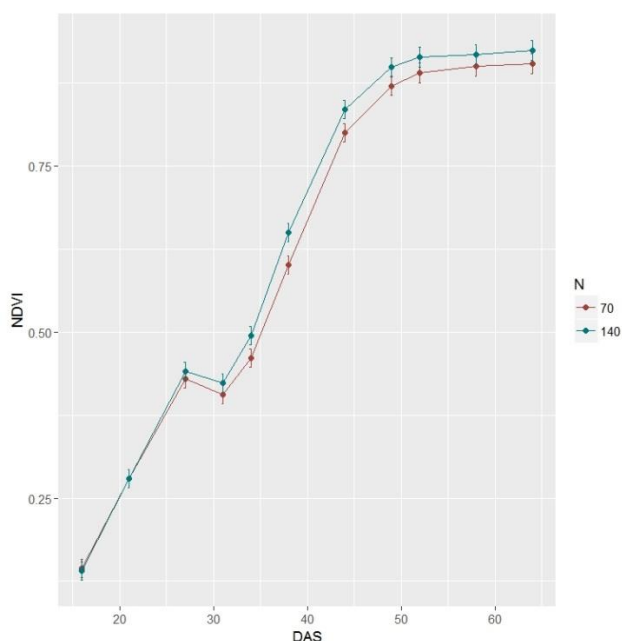
Baseret på indsamlet data fra 2015 og 2016, vil disse sammenligninger blive lavet overfor biomasseklip ved BBCH 69 og høst ved modenhed også, hvilket vil blive præsenteret i en opdateret rapport på et senere tidspunkt. Vækstkurverne vil blive undersøgt nærmere i andre nuværende projekter med droner til phenotyping.

Tabel 2: Prædiktion via *NDVI* af hhv. biomasse og % N i biomasse ved klip i vækststadiet BBCH 32. *NDVI* sammenholdes med høstet og analyseret biomasse. 1) *NDVI* svarer til enkeltmåling samme dag som klip. 2) *NDVI* svarer til integreret areal under hele vækstkurve for den enkelte sort. 3) *NDVI* α samt 4) *NDVI* β er beskrevet i tabel og er vækstparametre fra vækstkurven. R^2 = korrelationskoefficient, AIC = mål for relativ kvalitet af statistisk model og RMSE = forskel mellem model prædiktion og faktiske observationer.

2015	Prediction of biomass at BBCH 32			Prediction of % N at BBCH 32		
	R^2	AIC	RMSE	R^2	AIC	RMSE
1) <i>NDVI</i> (enkeltmåling ved BBCH 32)	0,60	125,49	30,76	0,88	63,82	0,35
2) <i>NDVI AUC</i> (Area Under Curve)	0,64	138,65	31,08	0,90	37,41	0,31
3) <i>NDVI</i> α : Maksimal vækst (hældning i vendetangent)	0,62	130,44	33,93	0,88	56,07	0,33
4) <i>NDVI</i> β : Tid efter såning (DAS), hvor vækst er maksimal (tid for vendetangent)	0,65	142,48	30,70	0,90	32,25	0,30

Kigger man isoleret på kvælstofniveau hen over sorterne samlet (figur 4 herunder), så var der i 2015 en begyndende effekt på *NDVI* fra omkring 27 DAS. 31 DAS falder indekset sammenlignet med 27 DAS. Dette illustrerer den udfordring, der er ved at bruge vækstindeks som *NDVI* i åbne afgrøder med små planter. Her vil jordens egenskaber have stor indflydelse på reflektansudtrykket der indgår i beregning af *NDVI*, og til dels også ukrudt. Det gjaldt for jorden 21 DAS at den var ganske tør i overfladen med høj reflektans og bladareal har stadig været relativt begrænset, mens der ved 27 DAS var en våd opfugtet jordoverflade med lav reflektans og et mere kraftigt plantedække. Ydermere var ukrudtsbestanden, trods denne var relativt beskeden, også synlig 27 DAS pga. sprøjtning endnu ikke har haft ønsket fuld effekt. 31 DAS var jorden mere tør og ukrudtet var bortvisnet, hvilket kan ses som havende en effekt på *NDVI*, der er lavere end 27 DAS. Derfor skal man være varsom med tolkninger af isolerede sessioner i de tidlige vækststadier og nærmere se på den gennemsnitlige udvikling over tid.

Generelt er der dog den mangel ved måleserien i figur 4, at der ikke er målinger senere end ca. 65 DAS svarende til BBCH 34, og derfor mangler der relativ viden om biomassen fra skridning til blomstring. Dette blev inkluderet i 2016 og vises længere nede.



Figur 4: NDVI som respons på tid efter såning (DAS) for de 6 sorter samlet men delt op efter kvælstofniveau på hhv. 70 kg N/ha og 140 kg N/ha. Slutmåling 60 DAS svarer til vækststadiet BBCH 34.

Ydermere hører det sig generelt til tolkning af data, at forsøget led af manganmangel i en del af den vegetative fase. Der blev behandlet med mangantilførsel via udsprøjtning, og afgrøden rettede sig generelt meget som følge af disse behandlinger. Men utvivlsomt vil data på biomasse være påvirket heraf, hvorfor det er vigtigt at gentage forsøget i 2016 med bedre anlæg så manganmanglen kontrolleres.

Overvejelsen i forhold til udfordringerne med NDVI i åbne afgrøder vil være, om man ville få mere ud af en absolut værdi relateret til biomassen såsom afgrødedække. Et andet alternativ kunne være et forsøg på at korrigere for jordens refleksitet ved at have en bar jord som reference, eller alternativt bruge andre indekser der korrigerer for jordens beskaffenhed.

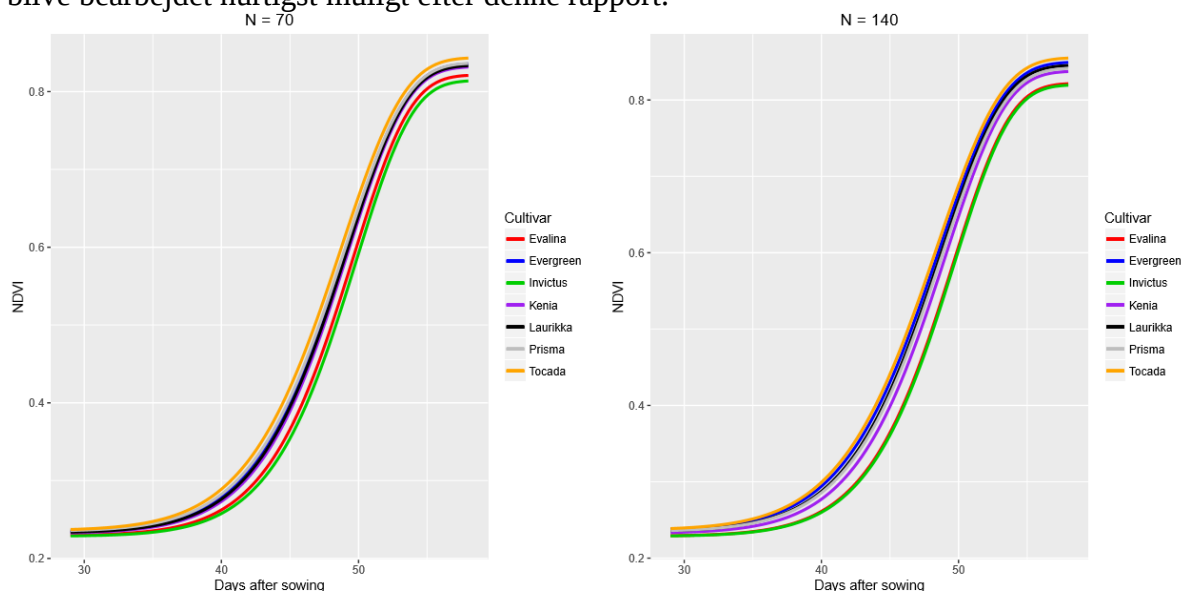
Dronerne blev introduceret i 2015 med målinger med forskellige systemer. Disse data bliver pt analyseret, men der forefindes nu analyserede data for 2016 som gennemgås nedenfor som validering af dronens potentiale til at estimere biomassedynamik

2016 udvalgte resultater fra markforsøg

Til forskel fra 2015 når NDVI de enkelte sorter i 2016 ikke samme niveau for mætning i øvre asymptote (figur 5). En årsag er sandsynligvis tidlig tørkestress, der gør at nogle sorter (Såsom Evalina og Invictus) var mere påvirket end de andre og derfor havner på lavere NDVI ved mætning. Figur 5 viser den dynamiske udvikling af de 7 vårbygssorter fra fremspiring (BBCH 11) til og med mætning af NDVI (BBCH 32), og tabel 3 illustrerer signifikante forskelle i α samt tidspunkt β (DAS).

I 2016 er Evalina og Invictus de 2 sorter med signifikant lavest maksimal vækstrate samt senest tidspunkt for β . Evergreen, Prisma, Laurikka og Tocada ligger samlet med højeste rater, som ikke er signifikant forskellige sorterne indbyrdes. Der mangler stadig en sammenholdning mellem

vækstparameterne op mod biomasseklip med analyser for 2016 i stil med tabel 2 for 2015. Dette vil blive bearbejdet hurtigst muligt efter denne rapport.

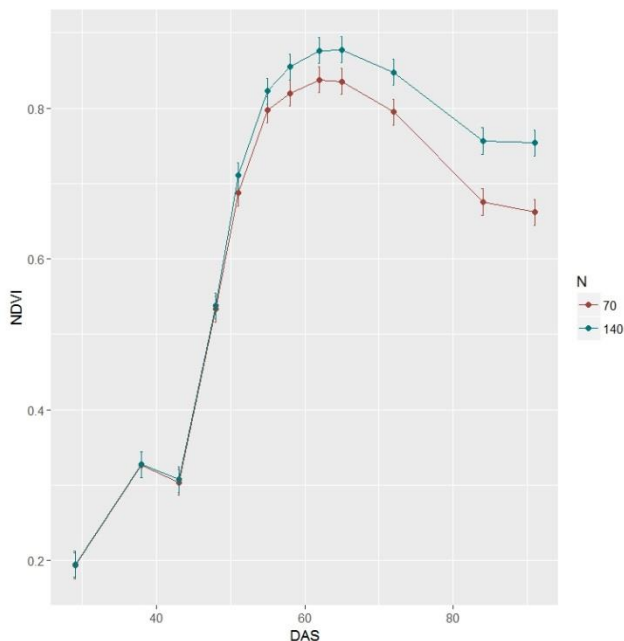


Figur 5: Dynamisk vækst i NDVI (relativ biomasse) for 7 vårbyg sorter ved 2 kvælstofniveauer. DAS = Dage Efter Såning.

Tabel 3: Vækstparameter for 7 vårbygssorter baseret på dynamiske vækstkurver. Vækstparameteren α betegner maksimal vækstrate som er hældning af vækstkurve, hvor den er stejlest (i vendetangent). Parameter β er tidspunkt (DAS = Dage Efter Såning) for, hvornår vækstkurven er halvvejs fra sit maks. niveau. Bogstaverne for hhv. α og β kolonnerne angiver statistiske signifikante forskelle i de 2 parametre sorterne imellem.

2016		α : Maksimal vækst (hældning i vendetangent)	β : Tid efter såning (DAS), hvor vækst er maksimal (tid for vendetangent)
Cultivar	Evalina	b	b
	Evergreen	a	a
	Invictus	b	b
	Kenia	ab	ab
	Laurikka	a	a
	Prisma	a	a
	Tocada	a	a

I 2016 blev NDVI målt frem til BBCH 69, og derfor er der et interessant målsæt at holde op mod biomasse og kvælstof ved klip omkring blomstring og høst til forskel fra 2015. Figur 6 herunder illustrerer isoleret kvælstofrespons hen over sorterne samlet ganske som figur 4. Heraf ses, at NDVI går i mætning omkring 65 DAS og er afhængig af N niveau, og det ses at N-niveau får en markant effekt når afgrøden modner af. I 2016 var der ydermere en effekt af tørke der sandsynligvis får NDVI til tideligt at falde kraftigere pga. scenerende biomasse, især på et kvælstofniveau på 70 kg N/ha. Sammenholdning af disse interessante data op mod kvælstofoptag og allokering til kerne vil blive opgjort senere, men her henvises til bl.a. Nguyen et al (2016) der som nævnt indledningsvis kobler NDVI målinger ved skridning mod beregninger for Nitrogen Use Efficiency i hvedesorter med interessante observationer til følge. Her havde man målinger tilsvarende de som præsenteres i figur 6. I øvrigt ses der igen et knæk i NDVI omkring 43 DAS, ganske som i 2015. Dette skal udredes for at finde, hvilken faktor der her påvirker NDVI målingen.

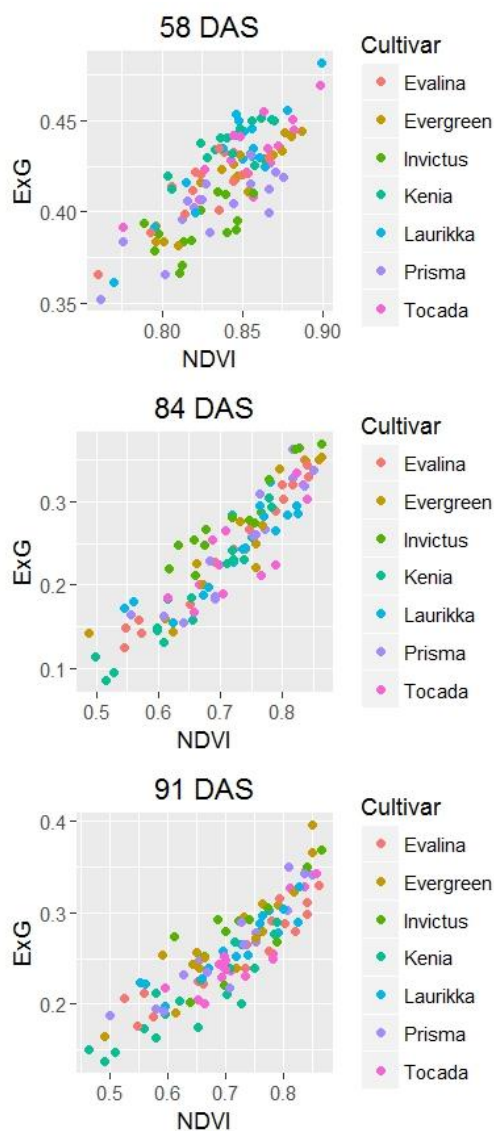


Figur 6: NDVI som respons på tid efter såning (DAS) for de 7 sorter samlet men delt op efter kvælstofniveau på hhv. 70 kg N/ha og 140 kg N/ha. Slutmåling 91 DAS svarer til vækststadiet BBCH 69.

De næste figurer og tabeller er en validering af de dronemålinger, der blev lavet i 2016, hvoraf vækstindekset Excess Green Indeks blev beregnet som relativ estimator af biomasse. Figur 7 er baseret på 3 målekampagner med dronen hhv. 58, 84 og 91 DAS, hvor der samtidig blev målt NDVI med PhenoField. Sammenholdes de 2 målemetoder på plotniveau, så ses det, at der er en fornuftig lineær sammenhæng, især ved de sidste 2 målekampagner. Tabel 4 opsummerer dette statistisk, og det ses at den bedste sammenhæng eksisterer 84 DAS, hvilket, som set på figur 6, også er et tidspunkt, hvor der for alvor opstår forskelle på kvælstofniveauerne, og NDVI er på vej væk fra mætningsfasen. Den dårligste sammenhæng 58 DAS er derimod, hvor NDVI er i mætning som set på figur 5 og 6. Det skal siges om ExG, at denne er lysfølsom i forhold til NDVI via PhenoField, hvilket også kan spille ind på den direkte sammenligning, hvis lysforhold har været lidt varierende på dagen for flyvningen. Dette er observeret under andre tests af ExG indeks fra drone. I de fleste flyvninger i 2016 blev der inkluderet en gråplade i afgrøden synlig fra dronefotos, og denne skal bruges til at kalibrere dronedata for lysindfald (Se appendiks B). Dette arbejde skal laves og testes det kommende år, og derpå vil effekten af dette kunne kvantificeres på data i figur 7 og se om det ændrer på noget. Uanset hvad, så har dronen og RGB kamera potentiale til at lave relative målinger på biomassen i byg senere hen på sæsonen baseret på data, der er troværdige i sammenligning med PhenoField referencen.

En anden måde at anskue ExG relativt til NDVI på er ved at kvantificere, hvorvidt man får samme rangering af sorternes biomasse om man bruger det ene eller det andet vegetationsindeks. I Taastrup er der efterhånden lavet en række sammenligninger mellem simple ExG målinger fra dronen mod bl.a. NDVI via reflektansmålinger i forskellige afgrøder på forskellige vækststadier, og et simpelt RGB kamera på en drone er tit ligeså effektiv som mere avanceret reflektansudstyr ved rangering af sorter efter biomasse, hvis blot der sørges for stabile lysforhold under flyvningen. Data fra figur 7 er gengivet i figur 8, hvor hver sort indenfor hvert kvælstofniveau sammenlignes statistisk indenfor hhv. ExG (3 øverste søjlediagrammer i figur 8) og NDVI (3 nederste søjlediagrammer i figur 8). Overordnet ser det ud til på figuren, at rangering af sorterne meget er den samme når man sammenligner NDVI med ExG indenfor samme dato på nær nogle få undtagelser. Det gælder især ved 84 og 91 DAS, mens billedet er mere uskarpt 58 DAS, hvor forskellene også generelt er meget små grundet mættet vegetationsindeks. Umiddelbart så er der flere signifikante forskelle at finde

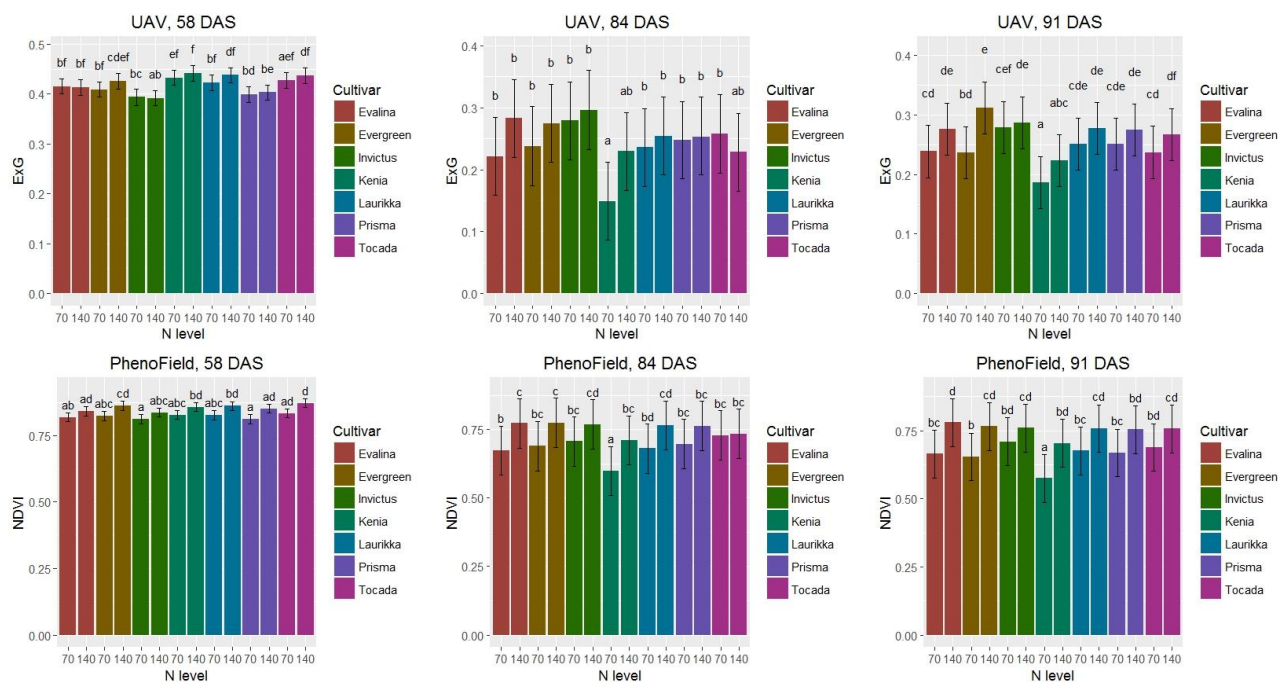
mellem sorterne ved benyttelse af PhenoField og NDVI som vegetationsindeks, hvilket nok skyldes det kontrollerede miljø PhenoField danner og derved meget præcise målinger. Stadig vil dronerne kunne bidrage meget til rangering af sorter og behandlingseffekter på et overordnet plan, og man kan diskutere, hvor vigtige de præcise statistiske forskelle er, hvis formålet er en rangering af sorter, hvor ønsket er at fjerne øvre eller nedre grupper.



Figur 7: Korrelation mellem NDVI estimeret via PhenoField multispektral platform og Excess Green Index (ExG) estimeret via RGB kamera på drone. Data er baseret på målinger med drone og phenofield af samme felt i markforsøg over 3 forskellige tidspunkter hhv. 58 Dage Efter Såning (DAS), 84 AS og 91 DAS. Datagrundlag er baseret på 7 forskellige vårbygsorter, 2 kvælstofniveauer og 4 gentagelser.

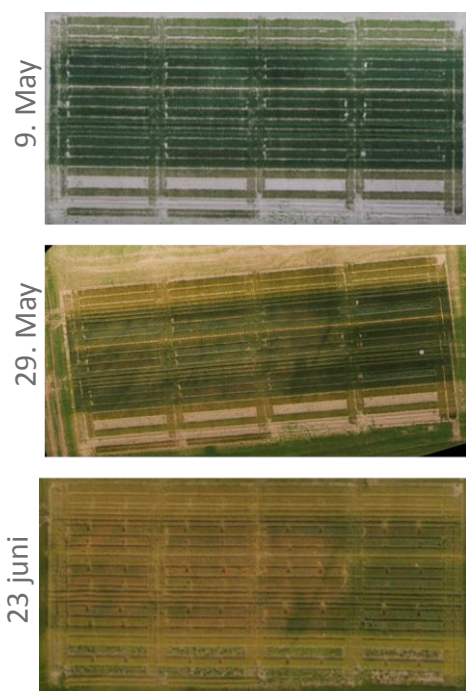
Tabel 4: Korrelationskoefficienter (R^2) for korrelation mellem NDVI og ExG målt i samme felter på 3 forskellige tidspunkter hhv. 58, 84 og 91 Dage Efter Såning (DAS). Data grundlag er 7 sort, 2 kvælstofniveauer og 4 gentagelser

Tidspunkt for Måling	R^2 for korrelation mellem ExG og NDVI
58 DAS	0.61
84 DAS	0.84
91 DAS	0.77



Figur 8: Øverste række af figurer: ExG for hver sort på hvert gødningsniveau målt hhv. 58, 84 og 91 Dage Efter Såning (DAS). Nederste række er NDVI målinger på samme målegrundlag og i samme målefelter som ExG og på samme tidspunkter a hhv. 58, 84 og 91 DAS. Bogstavangivelse for hver kolonne i plot angiver statistiske forskelle. Ens bogstavkombination svarer til ingen signifikant forskel.”

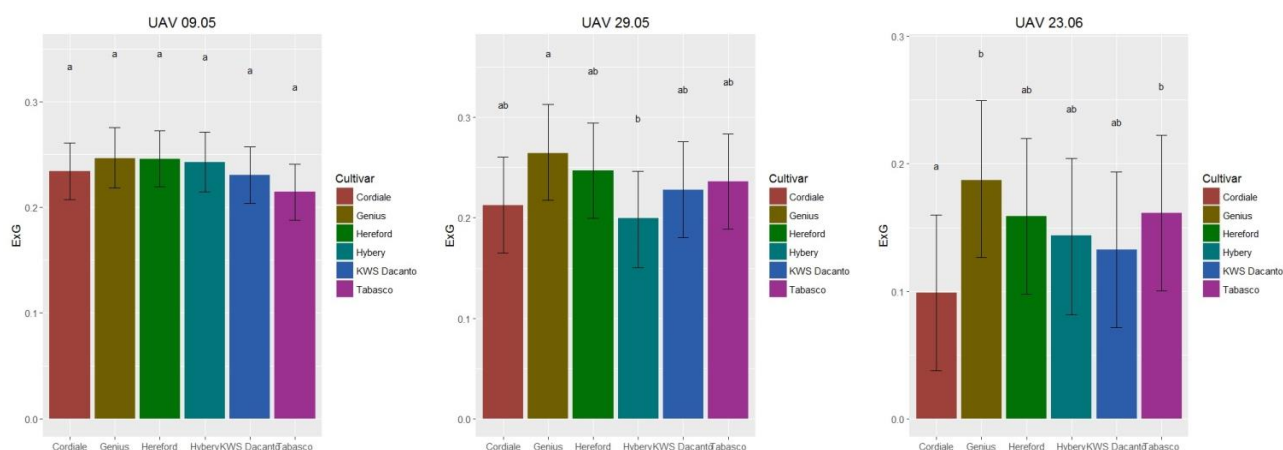
I 2016 blev der også foretaget en række flyvninger i hvedeeksperimentet. Tanken var igen at følge biomassens udvikling, samt at koble denne op mod de målinger, der blev foretaget via biomasseklip og udbyttehøst. Det er her vigtigt at bemærke, at der opstod tørke som virkelig slog igennem i anden og især 3 ExG måling. Dette fremstår tydeligt af figur 9 som er ortomosaikkerne af de 3 flyvninger. Blok 4 til højre er den blok, hvor tørken generelt ramte mindst, mens de andre 3 blokke var tørkepåvirkede, men med meget variation hen gennem plots.



Figur 9: ortomosaikker af hvedeforsøg hhv. 9 maj, 29 maj og 23 juni. 9 maj mosaik er baseret på RGB billeder GoPro Session kamera, mens mosaik fra hhv. 29 maj og 23 juni er baseret på billeder fra integreret Sony kamera på DJI Phantom 3 multirotor drone.

Figur 10 illustrerer sorternes gennemsnitlige ExG (4 gentagelser per plot, baseret på udklip af den midterste halvdel af hvert plot)) hen over de 3 datoer der blev målt. Det ses tydeligt at der er sortsforskelle i dynamikken i den relative biomasse, men med udgangspunkt i figur 9 er der rigtig meget variation i data på de 2 sidste flyvninger, hvilket også er angivet på søjlediagrammerne.

Selvom data er blevet opgjort, medfører den store variation hen gennem plots, at der her ikke præsenteres nogen relationer mellem biomasseklip og høstudbytte op mod relative biomassemålinger, da disse skal forfines for at få den mest reelle sammenligning. Dette arbejde foregår nu, og rapporten vil blive opdateret herpå i en kommende version. Uanset hvad, så er det forventeligt, at den ekstreme variation der ses i figur 9 let fanges via ExG, og samtidig vil forklare meget af den variation der ligger i biomasse og udbytte



Figur 10: ExG for hver sort for hele forsøget. Baseret på 4 gentagelser i blokdesign. Bogstavangivelse for hver kolonne i plot angiver statistiske forskelle. Ens bogstavkombination svarer til ingen signifikant forskel.

2016 udvalgte resultater fra RadiMax

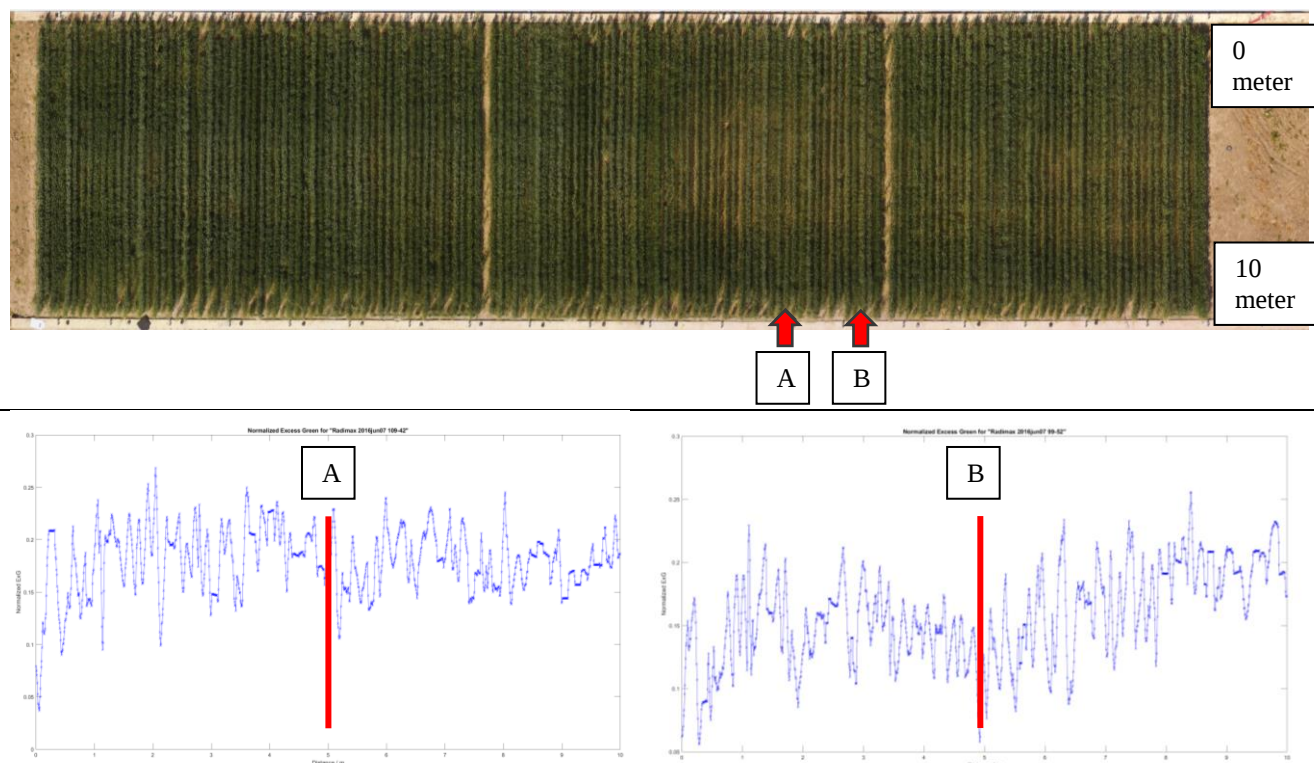
Dronerne blev i regi af FAUPE testet i RadiMax i 2016 for at se potentialet af et sådanne setup til at screene biomasse i enkeltvis afgrøderækker i RadiMax. Der blev fløjet en række gange i anlægget hen over sæsonen over de forskellige afgrøder med et simpelt RGB kamera, og ydermere blev også termisk fotografering testet af til at kortlægge tørkerespons. Afgrøderne var hvede, græs, vårbyg og kartofler (figur 11)

Med RGB billederne skulle det testes, hvorvidt det kunne lade sig gøre at isolere enkeltrækkerne i anlægget og lave et løbende gennemsnit for biomasse, her ExG, hen gennem rækken, for herved at kunne kvantificere en potentiel biomasserespons i forhold til tilgængeligheden af vand ind over midten af graven. Øvelsen her var at se, om det overhovedet var muligt at håndtere 150 rækker enkeltvis og samtidig kvantificere dem, og derfor præsenteres her ikke resultater der har til hensigt at vurdere de enkelte sorters respons på tørke – det er datagrundlaget ikke stærkt nok til endnu. Via overflyvninger i 15 meters højde og stitching af billederne til en ortomosaik (jf. Appendiks A), hvor der blev inkluderet referencepunkter på graven med præcise GPS koordinater, så var det muligt at generere meget præcise ortomosaikker af en grav hen over flere flyvninger. Dette er alfa omega for at kunne isolere enkeltrækkerne mere præcist og herpå klippe dem ud til analyse. Så de første tests heraf er positive, og vi tror på at dronen vil være et potentielt værktøj til at studere biomassedynamik på enkeltrækker.



Figur 11: RadiMax anlæg set fra drone 7 juni 2016. Anlæg yderst til højre er hvede, derpå græs, vårbyg og endelig til venstre er det kartofler.

Herunder i figur 12 en eksemplificering på udklip og kvantificering af relativ biomasse i enkeltrækker. Dette er hvedeforsøget, hvor ortomosaik øverst i figur 12 stammer fra overflyvning i 15 meter udført 7. juni. Visuelt af ortomosaik kan man allerede se, at der ser ud til at være en respons på biomassen ind over midten af anlægget, især i den højre halvdel af anlægget – biomassen ser lysere og tyndere ud. Ergo kan man visuelt fra billedet danne sig et indtryk. Udfordringen er at omdanne disse indtryk til kvantificerbare data. De 2 rækker markeret hhv. A og B på foto i figur 12 bliver klippet ud i fuld længde (Se appendiks C for nærmere beskrivelse af denne proces) og ved at definere at øverste del af rækken er meter 0 og nederste del er meter 10 hen over midten af anlæg (anlæg 10 meter bredt), så kan man via algoritme, der blev udviklet i programmet MatLab i anden regi til bestemmelse af dosis-respons sammenhænge, beregne et løbende gennemsnitlig ExG hen gennem rækken i forhold til afstand, hvilket så plottes som vist i figur 12 nederst. Her ses gennemsnitlige ExG (y-akse) for de 2 rækker (A og B henholdsvis) hen gennem anlæg (X-akse) fra meter 0 (blå kurve startende i venstre side) hen over midten af anlægget (meter 5) markeret med rød linje, helt til den anden ende af billedet (meter 10). Graferne viser meget variation, som skyldes, at man i billedet analyserer pixelrække for pixelrække og kvantificerer ExG, og derfor vil der være områder hen gennem rækken, hvor pixels repræsenterer et hul ned gennem afgrøden eller andet. Her er tanken, at man udvikler system, så det laver en blød gennemsnitlig kurve hen over rækken, så kurverne bliver nemmere at sammenligne. Stadig er det, på baggrund af kurverne som de er præsenteret her, muligt at sammenligne de 2 rækker visuelt, og her lader det til at række A har en mere stabil ExG hen gennem anlægget sammenlignet med B, der ser ud til at have et fald i EXG hen over midten af anlægget. Generel er den relative biomasse for A også højere end B. Det interessante her er ikke biomassen på denne dato. Det interessante er at lave en procedure der sammenligner biomassevariation for hver række i anlægget hen over adskillige målinger over tid, hvor der forventes at komme tørkerespons. Herved simpelthen sammenligne ExG for hver række over tid, og når der begynder at komme udfald hen over midten, så tage dette som respons på at biomassen påvirkes af tilgængelighed af vand.



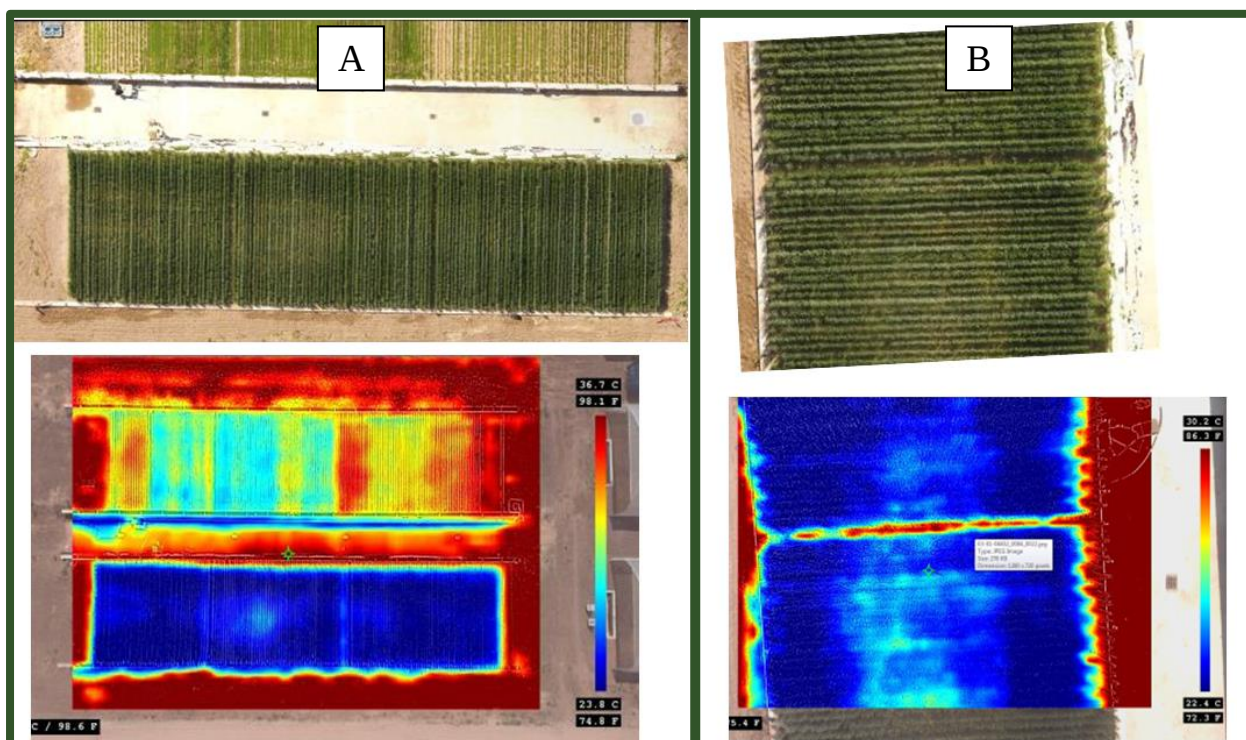
Figur 12 øverst: Ortomosaik af hvedeafgrøder fra flyvning i 15 meters højde. Anlæg er 10 meter bredt startende med meter 0 øverst til meter 10 nederst. Markeret er 2 rækker, A og B, som klippes ud via software. Disse analyseres derefter via algoritme i MatLab software, der beregner ExG for hver pixelrække ned gennem udklip, og tildeler hver pixelrække en afstand i anlægget defineret ud fra de 10 meters bredde. Nederst: Afbildning af ExG hen gennem hver af de 2 rækker A og B. X-aksen er afstand hen over rækken fra meter 0 til meter 10, og y-aksen er gennemsnits ExG for den løbende afstand. Midten af anlægget (5 meter) er markeret med en rød linje.

Testen ovenfor viser, at der er gode muligheder for at arbejde med enkeltrækker i RadiMax. Samtidig er denne tilgang dog også skrøbelig. Trods der kan laves meget præcise ortomosaikker der gengiver de enkelte anlæg ude i RadiMax i høj kvalitet, så er det svært at håndtere rækkerne, hvis skævheder skyldes at rækken rent fysisk er sået lidt skæv i anlægget. Det vil bevirke, at udklipning af en række i den ene ende kan være centreret perfekt hen over rækken, mens i den anden ende er rækken ikke perfekt centreret da den er sået skæv i anlægget, og dette påvirker ExG gennem rækken. Problemet skal ansætteligsgøres det kommende år, og i sidste ende viser det sig måske at kunne negligeres i forhold til de informationer, der er interessante.

RGB billederne afspejler biomassens respons på tørke efter noget tid pga. visnende biomasse, men biomassens mængde og grønhed kan forventeligt godt være upåvirket i noget tid selvom planten er påvirket af tørke. Derfor blev termisk billedtagning testet, da bladtemperaturen hurtigt stiger når en plante begynder at mangle vand og derved lukker ned for stomata og transpirationen. Figur 13 herunder viser resultater af et par få overflyvninger med specialdrone og termisk kamera 7 juni 2016. Det er samme dags overflyvning som er brugt i figur 12. Som allerede nævnt ser det ud til at canopy er påvirket hen over midten af anlæg, når man beskuer RGB billede. Samme billede fås via termiske kamera. Figur 13 illustrerer, at de steder hvor canopy er lysere på RGB billede, er temperaturen også højere på det termiske billede. Denne højere temperatur må anses for at være udtryk for at biomassen er negativt påvirket, heraf er transpiration påvirket og bladtemperaturen er steget. Dog skal man i fortolkningen holde sig for øje, at mindre bladmasse også åbner op for udstråling fra jordoverfladen, der er noget varmere end bladene. Derfor kan der være en selvforstærkende effekt her, der snyder. En vigtig information der skal drages er midlertidig også, hvorledes disse billeder i det hele taget kan

tolkes rækkevis, eftersom termiske kameraer ikke har samme gode opløsning i billedet som RGB kamera, hvorfor rækkerne kan være svære at genfinde, og derfor er udfordringen en anden.

Ovenstående kommer til at lægge grund til planlægningen af næste års aktiviteter i RadiMax om, hvorvidt der kan screenes med droner, hvorvidt termiske fotos er en god løsning og hvad det vil kræve af setup. Dette arbejde er i gang for nuværende. Med største sandsynlighed vil der næste år blive fløjet med henholdsvis RGB kamera, et multispektral kamera (Parrot Sequoia) og et termisk kamera for at studere tørkerespons ud fra så mange parametre og indekser som muligt.



Figur 13:

A: Hvede samt græs bassin i RadiMax med hhv. RGB billede (øverst) og termisk billede(nederst).
B: Delområde af hvedeforsøget gengivet med hhv. RGB billede (øverst) og termisk billede (nederst). Der ses en sammenhæng mellem gullig tørkepåvirket afgrødebiomasse i RGB billede og varmere bladtemperatur på samme biomasse i termisk billede. Den varme (røde) streg hen gennem anlægget genkendes også i RGB billedet som en stribe jord, hvor der ikke er en afgrøderække

Konklusion og perspektiv

Afrapporteringen her illustrerer blot, hvorledes simple dronesetup kan bruges til at beskrive biomassevariation på plotniveau hen over sæsonen på højde med mere avanceret udstyr såsom PhenoField. Der foreligger midlertidigt stadig et arbejde med at sammentolke FAUPE data på høstet biomasse og roddel op mod vegetationsindekserne. Dette skal fortsættes i den kommende tid, og det skal afsøges, hvori potentialerne hviler med perspektiv på de mange aktiviteter der foregår nu omkring brugen af droner lokalt hos forædlerne. Set i lyset af resultaterne skal dronen også sættes i sammenhæng til FAUPE2, især på RadiMax delen. Arbejdet med dynamiske vækstkurver fortsættes også for at undersøge til bunds, hvad man får ud af gentagne målinger og dynamikker, og hvordan dette omsættes til relevante parametre. Muligheden for parameterisering af vækstkurver er præsenteret og valideret på nogle simple biomasseeksempler i denne rapport. Merværdien heri skal kobles op til den lette brug af dronen til frekvente overflyvninger af forædlingsmaterialet. En vigtig

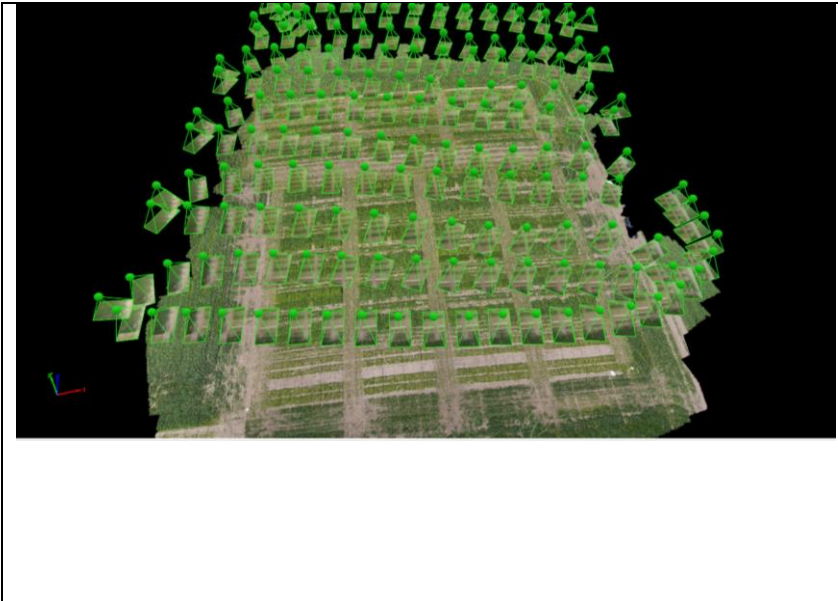
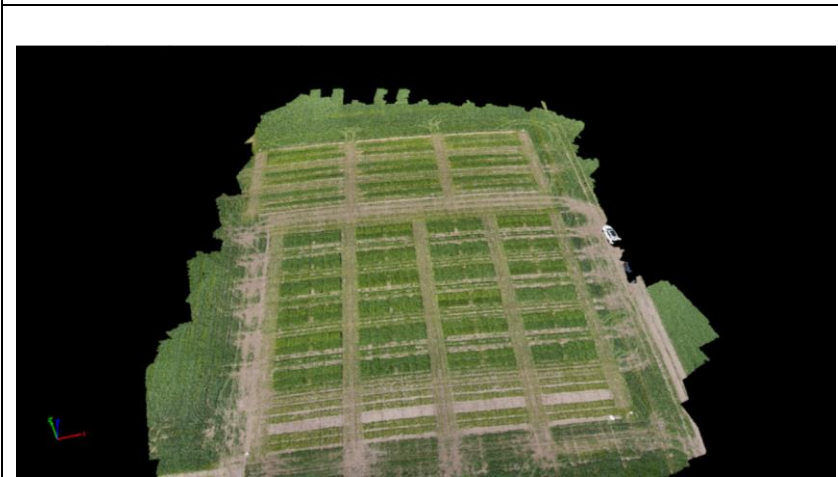
faktor for brugen af droner til at kvantificere biomasse og biomassedynamikker er udarbejdelsen af en infrastruktur omkring samt en viden om, hvordan der flyves og samles data og hvorledes data kan kalibreres for at få maksimalt udbytte. FAUPE arbejdet i 2015 og 2016 har bidraget massivt til dette, og derfor er der nu et stærkt fundament for at bruge dronen som screeningsredskab i forædlingen og i RadiMax anlægget under FAUPE 2, som ikke havde været muliggjort foruden FAUPE projektet. Endelig er der også potentialer i at bruge dronen til at screene tørkestress i RadiMax faciliteten. Eksempler på rækkevis evaluering af biomasse og termisk detektering er illustreret i rapport. Arbejdet fortsætter næste år med RGB kamera, et multispektralt kamera og et termisk kamera.

Referencer

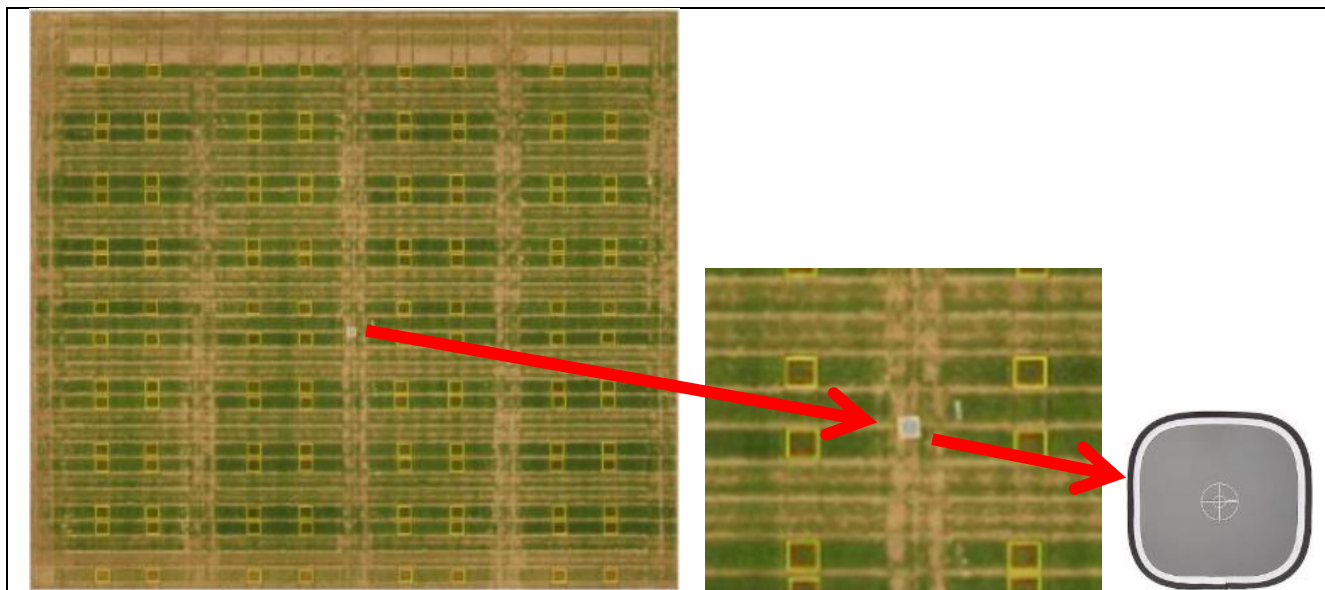
- Bingham, I.J. et al., 2012. Analysis of improvements in nitrogen use efficiency associated with 75 years of spring barley breeding. *European Journal of Agronomy*, 42, pp.49–58.
- Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Stellacci, A., Bort, J., Nogues, S. and Araus, J., 2011. NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*, 39(1), pp.147-159.
- Gago, J., Douthe, C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas-Carbo, M., Flexas, J., ... & Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture. *Agricultural water management*, 153, 9-19.
- Han, M., Okamoto, M., Beatty, P.H., Rothstein, S.J. and Good, A.G., 2015. The Genetics of Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Annual review of genetics*, 49(1).
- Helgadóttir, Á., Kristjánsdóttir, T.A. and Hopkins, A., 2013. Leaf spectroscopy: a surrogate measurement of autumn growth cessation of non-adapted grasses at high latitudes. In *The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas. Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013*. (pp. 364-366). Agricultural University of Iceland.
- Kipp, S., Mistele, B., Baresel, P. and Schmidhalter, U., 2014. High-throughput phenotyping early plant vigour of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 52, pp.271-278.
- Liao, M., Fillery, I.R. and Palta, J.A., 2004. Early vigorous growth is a major factor influencing nitrogen uptake in wheat. *Functional Plant Biology*, 31(2), pp.121-129.
- Liao, M., Palta, J.A. and Fillery, I.R., 2006. Root characteristics of vigorous wheat improve early nitrogen uptake. *Crop and Pasture Science*, 57(10), pp.1097-1107.
- Nguyen, G. N., Panozzo, J., Spangenberg, G., & Kant, S. A., 2016. Phenotyping approaches to evaluate nitrogen-use efficiency related traits of diverse wheat varieties under field conditions. *Crop and Pasture Science*, pp.20–25.
- Pang, J., Palta, J.A., Rebetzke, G.J. and Milroy, S.P., 2014. Wheat genotypes with high early vigour accumulate more nitrogen and have higher photosynthetic nitrogen use efficiency during early growth. *Functional Plant Biology*, 41(2), pp.215-222.

- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J. and Christensen, S., 2015. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? Accepted for publishing in *European Journal of Agronomy*.
- Ray, S.S., Das, G., Singh, J.P. and Panigrahy, S., 2006. Evaluation of hyperspectral indices for LAI estimation and discrimination of potato crop under different irrigation treatments. *International Journal of Remote Sensing*, 27(24), pp.5373-5387.
- Sankaran, S., Khot, L. R., Espinoza, C. Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V. R., Vandemark, G. J., ... & Pavek, M. J., 2015. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: A review. *European Journal of Agronomy*, 70, 112-123.
- Svensgaard, J., Roitsch, T. and Christensen, S., 2014. Development of a mobile multispectral imaging platform for precise field phenotyping. *Agronomy*, 4(3), pp.322-336.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), pp.127-150.
- Woebbecke, D.M., Meyer, G.E., Von Bargen, K. and Mortensen, D.A., 1995. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), pp.259-269.

Appendiks A – stitching af billeder til ortomosaik

	Der flyves hen over hele forsøget med overlap mellem billederne, ca. 80 % overlap i flyveretningen og 75 % sideværts overlap. Hver grøn plet hen over forsøget illustrerer hvor dronen var og det billede den tog. Som det ses, resulterer en sådan flyvning i mange billeder der skal stitches sammen. Flyvningen her er foretaget efter en ruteplan, så dronen fløj selv, og operatøren sørgede bare for at tage billeder med den rette frekvens der tillod nok overlap i flyveretning.
	Via softwarepakken Pix4D stitches billederne sammen til en 3D model af forsøget, der i programmet kan roteres og undersøges for adskillege parametre der siger noget om billedtagningen.
	I Pix4D genereres slutteligt en 2D ortofoto af forsøget, hvor pixelværdierne fra enkeltbillederne er kombineret således så man får en gennemsnitlig repræsentation. Dette ortofoto kan nu bruges til at klippe plots ud og beregne vegetationsindekser baseret på RGB for hvert enkelt plot.

Appendiks B: Radiometrisk kalibrering af RGB billeder



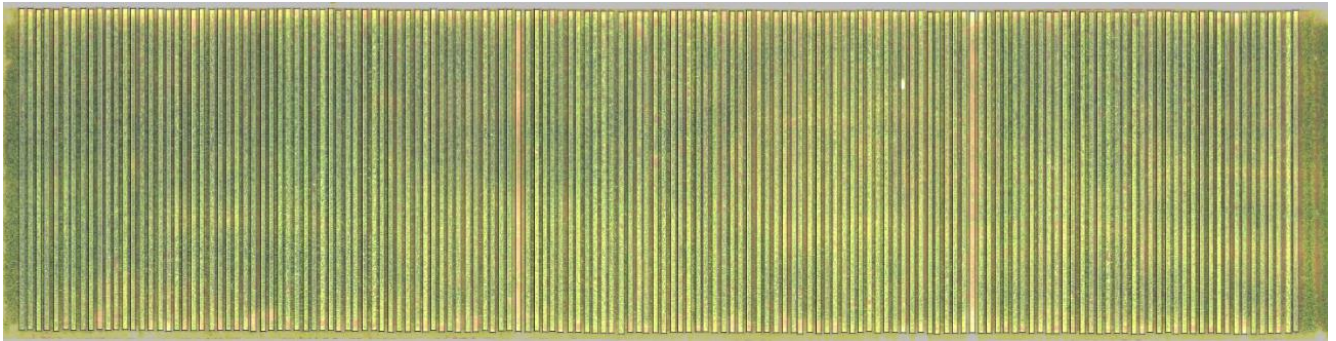
For at få korregeret et RGB billede for indkommende lysintensitet benyttes en gråplade i ortomosaik af forsøget. Gråpladen er vist til højre herover. Den er placeret midt i forsøget til venstre, og der er zoomet ind på gråpladen i midten. Rent praktisk lægger man gråpladen midt i sit forsøg inden flyvningen opstartes.

Gråpladen har en kendt sammensætning af RGB pixelværdier, og kender man pladens reflektansegenskaber (kan måles via et radiospektrometer der måler hyperspektralt) kan man bruge gråpladens værdier i billedet og omregne dem til reflektans for gråpladen. Har man en skala af forskellige gråplader (forskellig tone af grå) kan man lave en lineær sammenhæng mellem pixelværdi og reflektans. Denne lineære sammenhæng kan også bruges til at korrigere pixelværdi for de andre pixels i værdi ud fra reference-gråpladen. Herved vil man korrigere pixelværdi af noget grønt til en reflektansværdi hvor indkommende lys tages i betragtning, og derved får man absolutte værdier for en vegetation over tid der er uafhængig af skiftende lys over tid. Dog kan en gråplade ikke korrigere for skiftende lys indenfor en flyvning.

Læs mere om princippet i

Wang, C., & Myint, S. W. (2015). A simplified empirical line method of radiometric calibration for small unmanned aircraft systems-based remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(5), 1876-1885.

Appendiks C



Hveden i Radimax 7 Juni når der er lagt grid ned over 150 afgrøderækker. Griddet er 150 aflange rektangler, der centrerer hen over hver enkelt afgrøderække. Via udviklings-software er det herpå muligt at klippe de 150 rektangler ud, og derved få 150 billeder, et billede for hver række, der indeholder biomassen af hele rækkens afgrøde. Herunder screendump af mappe, hvor de 150 udskårne rækker ligger. Disse transporteres herefter over i MatLab script for at beregne ExG løbende hen gennem en række.

