

Fakultet for anvendt økologi, landbruksfag og bioteknologi

Nikolai Ødegaard

Bacheloroppgave

Bruk av UAV for registrering av viktige fenotypiske data med RGB sensor i Graminor AS sine foredlingsfelt

The use of UAV to collect important phenotypical data with RGB sensor at Graminor AS breeding trails

Bachelor i Landbruksteknikk

2019

Samtykker til tilgjengeligj ring i digitalt arkiv Brage

JA NEI

1. Forord

Interessen og kunnskapen om landbruksteknikk har blitt styrket gjennom studieløpet ved Høyskolen i Innlandet, campus Blæstad. Det jeg har satt mest pris på er det faglig sterke miljøet rundt og på Blæstad.

Noen av løsningene for fremtiden er å ta i bruk ny teknologi. Denne studien har kartlagt noen av mulighetene med sensorer montert på droner i forbindelse foredling av nye plantesorter. Jeg ønsker å takke Graminor AS, for det gode samarbeidet, faglig kompetanse, og de økonomiske rammene som er lagt til rette for denne studien. Jeg ønsker også å takke samarbeidspartnerne til Graminor AS i prosjektene 6P og vPheno, for hjelp, veiledning og mye ny kunnskap.

Jeg ønsker å rette en takk til:

- Københavns Universitet
 - o Jesper Cairo Westergaard, for uvurderlig hjelp under oppstarten, samarbeidet og tilbakemeldinger under skriveprosessen.
- Graminor AS
 - o Jon Arne Dieseth, for innspill, veiledning og interesse for gjennomføringen av oppgaven, samt gode tilbakemeldinger under skriveprosessen.
 - o Muath Alsheikh, for innspill under valg av problemstilling og hjelp under gjennomføringen.
 - o Anton Lier, for innspill til oppgaven.
- NMBU
 - o Morten Lillemo, for samarbeidet
 - o Ingun Burud, for samarbeidet
 - o Sahameh Shafiee, for samarbeidet
- Høyskolen i Innlandet
 - o Hans Christian Endrerud, for god veiledning og tilbakemeldinger under skriveprosessen
- En svært tålmodig samboer, som lar meg holde på med alle prosjektene mine, og en støttende familie.

Blæstad, 29. Mars 2019

Nikolai Ødegaard

2. Sammendrag

Norsk landbruk står ovenfor utfordringer med selvforsyningsgraden på mathvete. Det er ønsket en økning i produksjonen, samtidig som arealene tildelt dyrkning av mathvete blir mindre. For å kunne opprettholde selvforsyningsgraden må vi øke produktiviteten, og en av løsningene er godt tilpassede sorter egnet for norske dyrkingsforhold. Graminor AS er med i flere forskningsprosjekter med å ta i bruk nye teknologier for å øke framgangen i foredlingsprosessen. Prosjektene 6P og vPheno ser på bruken av drone for å finne måleparameter knyttet opp mot viktige planteegenskaper.

Studien er gjennomført på Gihle og Staur på vårhvete. Det er fløyet flere ganger over forsøksfeltet under forskjellige lysforhold og ulike tidspunkt på døgnet. Registreringene er gjennomført med RGB kamera montert på drone. Det ble valgt å bruke indeksen Excess Green indeks (ExG) for å skille grønn plantemasse og jord. Endring i ExG-verdi ble registrert gjennom vekstsesongen. Regresjonsanalyse er gjennomført mellom ExG-verdi og høstet avling på forsøksrutene for hver enkelt flyging. Flygingen den 30.juli på Gihle ga best korrelasjon mellom avling og ExG, justert $R^2 = 0,73$.

Konklusjonen baserer seg på helhetlig vurdering av innsamlingsmetode, behandling- og bearbeiding av data og resultatene funnet, samt litteratur fra lignende studier. Drone er et svært effektivt verktøy til innsamling, men det er en rekke faktorer som kan påvirke ExG-verdien negativt. Lysforhold og tidspunkt på dagen bør være likt, dersom man skal sammenligne data. Plantens utviklingsstadium ser ut til å ha stor betydning for hva man skal måle, enten det er avling, sykdom eller høydemåling.

3. Abstract

Norwegian agriculture is facing challenges with the self-sufficiency of wheat. There is a desire for an increase in production, at the same time as the areas allocated to the cultivation of wheat become smaller. To maintain the degree of self-sufficiency we must increase productivity, and one of the solutions being well-adapted varieties, suitable for Norwegian cultivation conditions. Graminor AS is involved in several research projects to apply new technologies to increase the progress in the breeding program. The 6P and vPheno projects look at the use of UAV to find measurement parameters linked to important plant properties.

The study was conducted at Gihle and Staur on spring wheat. It is flown several times over the test field under different lighting conditions and at different time of the day. The registrations were carried out with RGB camera mounted on a UAV. The Excess Green Index (ExG) was chosen to separate green plants and soil. Changes in the ExG value was recorded through the growing season. Regression analysis is carried out between ExG value and harvested crop on the test routes for each individual flight. The flight on July 30 at Gihle gave the best correlation between crop and ExG, adjusted $R^2 = 0.73$.

The conclusion is based on the comprehensive assessment of the collection method, the processing of data and the results found, as well as literature from similar studies. The UAV is a very effective tool for collection of data, but there are several factors that can affect the ExG value. Light conditions and time of day should be equal, if one should compare data. The development stage of the plant, appears to have great significance for what to measure, whether this is crop, disease or altitude measurement.

4. Innhold

1.	FORORD	3
2.	SAMMENDRAG	4
3.	ABSTRACT	5
4.	INNHold	6
5.	FORKORTELSER, FORMLER OG ENHETER	9
6.	INNLEDNING	11
6.1	INTRODUKSJON	11
6.2	FJERNMÅLING	12
6.3	OM PROSJEKTENE	15
6.4	PROBLEMSTILLING	16
6.5	HOVEDMÅL/DELMÅL	16
6.6	AVGRENSNINGER	16
6.7	LITTERATURSTUDIE.....	17
6.7.1	<i>Lovverk</i>	17
6.7.2	<i>RGB-sensorens funksjon og bildets oppbygning</i>	18
6.7.3	<i>Fjernmåling i forsøksfelt med UAV</i>	18
6.7.4	<i>Indekskalkulatorer for RGB</i>	20
7.	MATERIALE OG METODE	23
7.1	OMRÅDET OG FELTFORSØK	23
7.1.1	<i>Gihle</i>	23
7.1.2	<i>Staur</i>	24
7.2	UTSTYR.....	25
7.2.1	<i>UAV</i>	25

7.2.2	<i>Datamaskinvare (Hardware)</i>	25
7.2.3	<i>Programvare (Software)</i>	26
7.2.4	<i>Overføring, lagring og mappestruktur</i>	28
7.3	GJENNOMFØRING AV FORSØK	29
7.4	STATISTIKK	31
8.	RESULTAT	32
8.1	UTVIKLING I EXG-VERDI GJENNOM FORSØKSPERIODEN	33
8.1.1	<i>Gihle</i>	33
8.1.2	<i>Staur</i>	33
8.2	GIHLE	34
8.2.1	<i>ExG-verdi for hele forsøksfeltet</i>	34
8.2.2	<i>ExG-verdi på sort</i>	36
8.2.3	<i>ExG-verdi for 18T1A</i>	38
8.3	STAUR	39
8.3.1	<i>ExG-verdi for hele forsøksfeltet</i>	39
8.3.2	<i>ExG-verdi på sort</i>	41
8.3.3	<i>ExG-verdi for 18T1A</i>	43
8.4	TVERRERFUNKSJONELT FLYTIDIAGRAM FOR DATAINNSAMLING OG PROSESSERING	44
9.	DISKUSJON	45
9.1	UTVIKLINGEN AV EXG-VERDI GJENNOM VEKSTSESONGEN	45
9.2	SAMMENHENG MELLOM EXG-VERDI OG AVLING	47
9.2.1	<i>Gihle</i>	47
9.2.2	<i>Staur</i>	48
9.3	PROSESSKART	49

9.4	DATAFANGST	49
9.5	DATABEHANDLING.....	51
9.6	KVALITETSKONTROLL OG KVALITETSSIKRING	51
10.	KONKLUSJON	53
11.	LITTERATURLISTE	54
12.	VEDLEGG	59
12.1	VEDLEGG 1 – INNKJØPSPLAN	60
12.2	VEDLEGG 2 – DEKLARASJONSSKJEMA	62
12.3	VEDLEGG 3 – RPAS-SERTIFIKAT	63
12.4	VEDLEGG 4 – OPERASJONSMANUAL GRAMINOR AS	64
12.5	VEDLEGG 5 – FLYTSKJEMA 1 - PLANLEGGING.....	81
12.6	VEDLEGG 6 – FLYTSKJEMA 2 – FLYVNING	82
12.7	VEDLEGG 7 – FLYTSKJEMA 3 – DATABEHANDLING	83
12.8	VEDLEGG 8 – FLYTSKJEMA 4 – STITCHING AV MOSAIKK.....	84
12.9	VEDLEGG 9 – FLYTSKJEMA 5 – PROSESSERING AV MOSAIKK	85

5. Forkortelser, formler og enheter

6P	Nordic Public Private Partnership – Plant Phenotyping Project
AGL	Above Ground Level
CC	Crop Cover (plantedekke)
CCD	Charge-Coupled Devices
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DSM	Digital Surface Modell
EM	ElektroMagnetisk (stråling/spekter)
ExG	Excess Green Index
Flightplan	Autopilot program for automatisk styring av drone
GCP	Ground Control Point
GIS	Geografisk Informasjons System
GS	Genomisk Seleksjon
GSD	Ground Sampling Distans
HDD	HardDiscDrive
HSI	HUE, Saturation and Intensety (fargetone, metning og intensitet)
IR	InfraRød
MAS	MarkørAssistert Seleksjon
MP	MegaPixel
NDVI	Normalized Diffrence Vegetation Index
NIR	Nært InfraRød

NPPN	Nordic Plant Phenotyping Network
R ²	Hvor stor andel av resultatet som forklares av regresjonslinjen 0,00-1,00
RGB	Rød-, Grønn-, Blå- Spekter
RMSE	Kvadratrotten av gjennomsnittlig kvadrert feil, (Root Mean Square Error)
RPAS	Remotely Operated Aircraft System
RO	RPAS-Operatør klasse (det er tre klasser, 1, 2 og 3)
Stitching	Sammensying/sammenkobling av bilder til en mosaikk
UAS	Unmanned Aerial Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCPH	Universitetet i København
vPheno	Virtual Phenomics
VR	Virtual Reality
VTOL	Vertikal Takeoff og Landing

6. Innledning

6.1 Introduksjon

Norsk landbruk står ovenfor utfordringer med selvforsyningsgraden på mathvete. Tall for 2017 viser en selvforsyningsgrad på 36% for mathvete (Landbruksdirektoratet, 2018). Det totale jordbruksarealet i Norge er på 3,4% (11 167 000 daa) av det totale landarealet (SSB, 2018), og av dette brukes ca. 30% til dyrkning av korn og oljevekster til modning i 2018. De siste 10 år har det blitt 42745 daa mindre areal tildelt korn og oljevekster til modning (SSB, 2019). Landbruks- og matdepartementet ønsker at den landbaserte matproduksjonen skal øke i takt med den økende befolkningen i landet. Det er utfordringer knyttet til dette med tanke på vekstsesong, kaldt klima og dårlig arrondering. Matsikkerheten til Norge avhenger at man har optimal og bærekraftig utnyttelse av jordbruksarealene (Landbruks- og matdepartementet, 2018).

Skal man ha en effektiv planteproduksjon med høy kvalitet, er det nødvendig med sorter som er tilpasset vår korte vekstsesong. Sene sorter har oftest større avlingspotensiale enn tidlige sorter, fordi de bruker lengere tid på vekst og avlingsdannelse. Klimaet i Norge setter begrensninger på veksttiden, og vi kan av den grunn ikke dyrke sene sorter med høyere avlingspotensiale. Det betyr at avlingspotensialet til de sortene vi dyrker i Norge er lavere, sett opp mot de som dyrkes i Danmark, Tyskland eller Frankrike. Det er derfor av stor betydning at vi har tilgang til sorter som er tilpasset vårt klima for å kunne utnytte potensialet for korndyrking i Norge (Uhlen, Lillemo, & Sundgren, 2017).

Fra 1960 og fram til midten av 1980-tallet har det vært en stor avlingsøkning for norsk kornproduksjon. Dette skyldes endringer i sortsmaterialet (utvikling av planter med høyere høsteindeks og kortere strå), samt forbedringer i dyrkningsteknikken (Uhlen, Lillemo, & Sundgren, 2017). Det er vanlig å regne med at ca. 1/3 skyldes bedre dyrkningsteknikk, ca. 1/3 bedret sortsmateriale, og ca. 1/3 skyldes samspillet mellom bedret dyrkningsteknikk og sortsmaterialet. For eksempel tåler sorter med bedre stråstyrke å dyrkes mer intensivt med større gjødselmengder. Avlsframgangen de siste 20 år har vært på 30 kg for bygg, 50 kg for havre og 70 kg for mathvete per daa. Det kan forventes en estimert avlingsframgang på 0,5% de neste årene (Uhlen, Lillemo, & Sundgren, 2017).

De neste 20 årene vil det være behov for å øke matproduksjonen med 20% for å opprettholde selvforsyningsgraden. Det må gjøres en rekke agronomiske tiltak, som grøfting, kalking og dyrkning av ny jord. Det må også i større grad satses på forskning og planteforedling (Stabbetorp, 2018). For å opprettholde eller øke framgangen i planteforedling har planteforedlerne tatt i bruk nye, bioteknologiske teknologier som markørassistert seleksjon (MAS) og genomisk seleksjon (GS) (Graminor AS, 2016a). Bakgrunnen for å bruke teknologier som MAS og GS er ønsket om å effektivisere arbeidet ved å bedre presisjonen i utvalgene. Får man til dette kan man enten redusere volumet (antall forsøksruter) og spare penger, eller man kan øke framgangen og bli mer konkurransedyktig. En annen måte å bedre presisjonen i utvalgsarbeidet på, er å bedre beslutningsgrunnlaget, med innsamling av flere og bedre fenotypiske data. Det er flere prosjekter på gang for å se på bruk av blant annet UAV til å samle inn data for «high-throughput phenotyping». I disse prosjektene ønsker man å finne nye, presise og effektive måter å samle inn fenotypisk data på. Dette for å øke framgangen og presisjonen i foredlingen av nye plantesorter (Burud, et al., 2017; Graminor AS, 2016b; NPPN, 2019a).

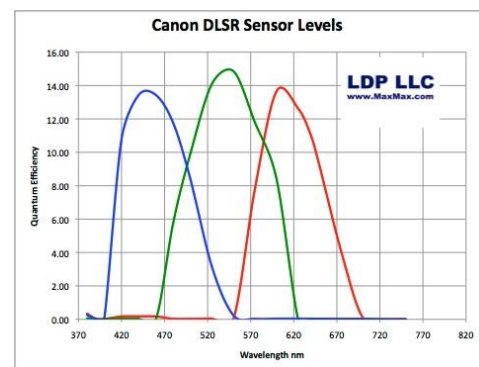
6.2 Fjernmåling

Det har vært en rivende utvikling av sensorteknologi for fjernmåling som er egnet til jordbruksformål (NIBIO, 2019a). Fjernmåling kan enten være innsamling ved hjelp av UAV eller satellitter. CropSAT eller atfarm er verktøy for presisjonsgjødsling, hvor data blir innsamlet via satellitt og prosessert, slik at man får et indeksskart som viser biomasseforskjeller i åkeren. Dette blir så konvertert til en tildelingsfil som kan overføres til traktorens GPS. Utfordringen med disse systemene er at været kan være en begrensning. De dagene det er overskyet får man ikke noe data. Nøyaktigheten på satellittbildene er for dårlig, ca. 10*10 meter (atfarm, 2019; Yara Norge & DataVäxt AB, 2019).

Det finnes flere typer UAV plattformer som kan brukes til fjernmåling. Alt fra luftballonger (CSIRO, 2015), til droner. Droner deles ofte inn i 3 kategorier; fastvinge, multirotor og hybrid. Droner finnes i en rekke prisklasser og spesifikasjoner. For å være egnet til jordbruksformål må dronen ha mulighet til autonom flyvning, som gir større presisjon i overlapp og AGL nøyaktighet, lang batteritid, samt evne til å bære sensor(er) (Pircher, Geipel, Kusnierek, & Korseath, 2017).

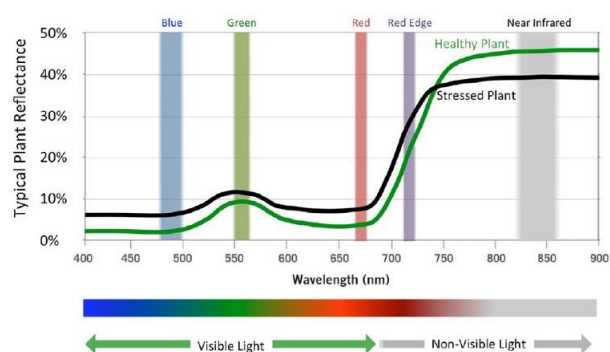
De fleste droner på forbrukermarkedet er multirotor-droner og kan bære forskjellig utstyr eller sensorer, alt etter størrelse og løftekapasitet. Multirotor droner er manøvreringsdyktige, samt at de bruker VTOL, (vertikal takeoff og landing), noe som er en fordel da man slipper lengre «landingsområder», slik som ved bruk av fastvingedrone. Ulempen er at flytiden er begrenset til ca. 25 minutter (Hafsøl, 2016). Fastvingedroner brukes til å dekke større arealer. De bruker lite energi og har dermed lengere flytid enn multikopter, men de krever større landingsplass, og mer plass i luften for å manøvrere (Pircher, Geipel, Kusnierek, & Korseath, 2017). Større hastighet kan også gi problemer med å få nok overlapp ved lav AGL. NIBIO, Senter for presisjonsjordbruk har utviklet en hybriddrone, som har både de fordelene multirotor dronen har med VTOL, samt lang flytid på grunn av sin energibesparende fastvingekonstruksjon. Det er utviklet to prototyper, men de er enda ikke satt i produksjon (Pircher, Geipel, Kusnierek, & Korseath, 2017).

Til landbruksformål finnes det flere typer sensorer som kan monteres på en drone (UAV), alt fra vanlig RGB-kamera til mer avanserte multispektrale, hyperspektrale eller termiske kameraer (Hafsøl, 2016). Et RGB-kamera er en sensor som tar inn fargespektrene Rød, Grønn og Blå (synlige spekter). Spektrene overlapper hverandre, se figur 1. Man bruker ofte RGB-kameraet til både å samle inn data og orientere seg under flyvning. Data fra RGB blir så behandlet i forskjellige programmer for å produsere ortomosaikker (flere bilder sydd/stitchet sammen for å skape et bilde), 3D-modeller eller elevasjonkart (Grøtli, Transeth, Gylland, Risholm, & Bergh, 2014).



Figur 1 RGB-spekter, hentet fra: (LDP LLC-MAXMAX, 2019)

Multispektrale sensorer opererer med flere spektrale bånd, ofte inkludert NIR, Red-Edge, som ligger i det elektromagnetiske spekteret (EM) i likhet med RGB, men utenom det synlige spekteret (Burud, et al., 2017). Spektrene er ofte diskrete, som betyr at de ikke overlapper hverandre, se figur 2 (Globe Flight, 2019). Multispektrale sensorer opererer innenfor spektralbredde



Figur 2 Planterefleksjon i forhold til RGB, Red-Edge og NIR, hentet fra: (Globe Flight, 2019).

på 400-1000 nm. Hyperspektrale sensorer fungerer likt med multispektrale. De har mange flere spektrale bånd (40-62), samt høyere bølgelengde 900-1700 nm (Grøtli, Transeth, Gylland, Risholm, & Bergh, 2014). Spektralbåndene kan ligge svært tett, eller helt inntil hverandre. Oppløsningen kan være helt nede i 3,5 nm bredde på EM (SPECIM, Spectral Imaging Ltd., 2017). Fordelen med slike sensorer er at man dekker flere bølgelengder, og større oppløsning med refleksjon fra plantene, noe som kan gi større nøyaktighet sammenlignet med multispektrale sensorer som har en oppløsning på 10-40 nm (MicaSense, 2019). Hyperspektrale sensorer kan også brukes til testing for å finne de spektralbåndene som er mest interessante med tanke på for eksempel Graminor sine forsøksfelter. Deretter kan man få spesialbestilt en mindre sensor, kun med de aktuelle spektralbåndene som er nødvendig. For å kunne bruke data fra RGB, multispektrale eller hyperspektrale sensorer, settes verdier fra de forskjellige spektrene inn i indeksekalkulatorer. Indeksekalkulator er et verktøy man bruker for å sette inn avleste verdier på de forskjellige spektrene har innenfor et gitt område. Det finnes en rekke forskjellige indekser. Noen er i større grad rettet mot å finne grønn plantemasse, for eksempel Exess green index, (ExG) (Woebbecke, Mayer, Von Bargen, & Mortensen, 1995). Et annet eksempel er NDVI som kan blant annet brukes til beregning av avling og skyting på kornplantene (Burud, et al., 2017). Det finnes også andre indekser som i større eller mindre grad er knyttet opp mot planteegenskaper, som avling, biomasse, sykdom og plantestress. Indeksekalkulatorer er et fagområde i utvikling, og man finner stadig nye bruksområder for dem.

Termiske sensorer brukes til en rekke applikasjoner for måling av temperaturforskjeller, blant annet til jordbruksformål (NIBIO, 2019b). Sensoren bruker infrarød stråling (IR) noe som frigis av alle objekter over 0 K, og mengden IR øker i takt med temperaturen. Et termisk kamera er bygd opp på samme måte som et RGB-kamera, der IR treffer en linse som fokuserer IR mot en detektor. Detektoren er et microbolometer som endrer konduktivitet ved endret IR-verdi, som deretter prosesseres for å bli gjengitt som video eller bilde (FLIR AB, 2019). Termiske sensorer er svært følsom for vind. Hvis man har et vindpust midt i en billedserie, kan man ikke sammenligne bildene tatt før og etter vindpustet.

Ved bruk av drone i forsøksfelt er det viktig å minimere feilkildene knyttet opp mot innsamlingen av data. På den måten sikrer man pålitelige, sammenlignbare data, som kan brukes i foredling eller forskning. Data (bilde) bør i størst mulig grad samles inn under like forhold, f.eks. flyhøyde, vær, lysforhold, retning (flygemønster) og tidspunkt på dagen

(Haghighattalab, et al., 2016; Lu, et al., 2019). Data innsamlet under like forhold, gir mindre behov for bearbeidelse i etterkant.

6.3 Om prosjektene

Graminor er med i to forskningsprosjekter hvor droner brukes til innsamling av fenotypisk data. Det ene er «*Reliable and efficient high-throughput phenotyping to accelerate genetic gains in Norwegian plant breeding*», (Virtual Phenomics (vPheno)). vPheno går ut på å ta i bruk og kombinere nye teknologier, deriblant GS (genomisk seleksjon) og data innsamlet med sensorer (RGB, multispektrale mm.), med bruk av drone og robot (Thorvald) (Saga Robotics, 2019). Ved hjelp av VR (virtual reality) ønsker man å skape et virtuelt forsøksfelt som foredleren kan arbeide i også utenfor vekstsesongen. Dette prosjektet er et samarbeid mellom NMBU, Graminor AS, Making View AS, CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) i Mexico og Boston University i USA (Graminor AS, 2016b).

Det andre prosjektet er 6P, «*The Nordic Public Private Partnership – Plant Phenotyping Project*». Som en del av 6P ble NPPN (Nordic Plant Phenotyping Network) etablert for å øke aktivitet, promotering, og informasjonsdeling mellom partnerne, som er University of Copenhagen Department of Plant and Environmental Sciences, Agricultural University of Iceland, Lantmännen, SECOBRA Recherces, Danespo, DLF-Trifolium, Boreal Plant Breeding Ltd, Graminor AS, LUKE – Natural Resources Institute Finland, Sejet Planteforædling, SLU – Swedish University of Agricultural Sciences og Syngenta (NPPN, 2019b). Hovedhensikten med 6P prosjektet er å gi nordiske planteforedlere muligheten til direkte å være med å utvikle effektive fenotypeverktøy. Målet er at man sammen lager en felles plattform for praktisk implementering, slik at man øker effektiviteten og konkurranseevnen i deltagernes foredlingsarbeid. Dagens forskningsaktiviteter omhandler bruk av UAS og digitale bilder av forsøksfelter samt utvikling av en brukervennlig IT infrastruktur, systematisk datahåndtering og felles analyseprotokoll (NPPN, 2019a). Vi er nå inne i del to av prosjektet, dvs. 6P2.

6.4 Problemstilling

Droner påmontert sensorer kan raskt og effektivt innhente data for bruk i foredling av nye kornsorter. Graminor er med i to forskningsprosjekter som tar for seg innsamling av data med bruk av droner påmontert sensorer. Det mangler imidlertid rutiner for praktisk bruk av utstyret og innsamling av data.

Jeg har tatt utgangspunkt i følgende problemstillinger:

1. Hvordan starte opp med droner for registrering av data, prosesskart for planlegging, datafangst og databehandling?
2. Hvordan ekstraheres fenotypisk data fra et RGB-bilde?
3. Hvordan vurdere kvaliteten på innsamlede data og sikre at innsamlede data har høy kvalitet?

6.5 Hovedmål/delmål

Hovedmålet for oppgaven er å sette opp et flytskjema for bruk av droner, behandling av data og validering av data innsamlet med hjelp av drone på forsøksfeltene. Det blir lagt opp følgende delmål for prosessen:

1. Vurdering av behov før Graminor går til anskaffelse av utstyr.
2. Sette opp operasjonsmanual for innsamling av data med bruk av drone, og følge retningslinjer i henhold til lovverk.
3. Gjennomføre forsøk med bruk av droner til innsamling av data i forsøksfelt.
4. Lage et flytskjema for bruk av droner og databehandling, fra før flyvning til ferdig behandlet data.
5. Validere innsamlede data som er behandlet opp mot andre fenotypiske data innsamlet gjennom foredlingsprogrammet.

6.6 Avgrensninger

Hovedfokuset blir å teste ut drone som plattform for RGB-sensor, samt innhente og prosessere fenotypisk data.

6.7 Litteraturstudie

Med utgangspunkt i problemstillingene for oppgaven; «*Hvordan starte opp med droner for registrering av data, prosesskart for planlegging, datafangst og databehandling?*», «*Hvordan ekstraheres fenotypisk data fra et RGB-bilde?*» og «*Hvordan vurdere kvaliteten på innsamlede data og sikre at innsamlede data har høy kvalitet?*», er det nødvendig med en gjennomgang av relevant litteratur for å kunne forstå teknologien, gjennomføre studien og drøfte resultatene.

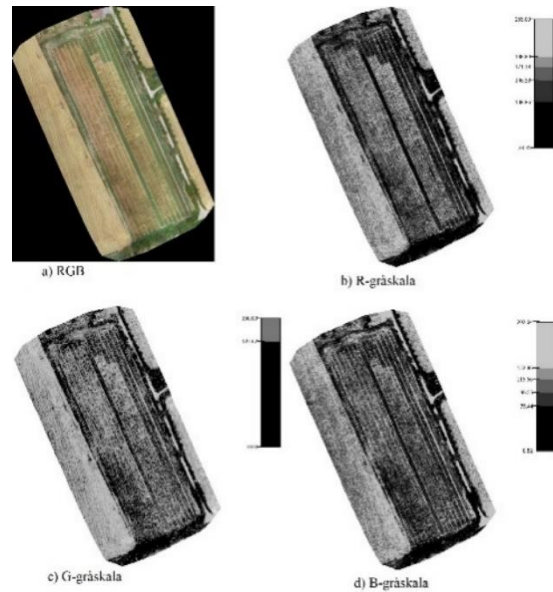
6.7.1 Lovverk

Luftfartstilsynet regulerer og fører tilsyn på alt av lufttrafikk i Norge, noe som også omfatter droner. Regelverket utarbeides hovedsakelig i internasjonale samarbeidsfora (Luftfartstilsynet, 2019b). Luftfartstilsynet arbeider i hovedsakelig forebyggende, og i praksis betyr det oppdateringer rundt sikkerhetshull i programvare i droner eller 3. parts programvare, eller teknisk ved å sende ut «sikkerhetsbrev» til alle RPAS-operatører (Luftfartstilsynet, 2019c). De sørger også for opplæringsmateriell, både for de som tar RPAS-sertifikat eller ønsker å fly drone. Dette gjøres gjennom «Nettkurs for droneoperatører», og alt kursmateriell er gratis og ligger på nett (Luftfartstilsynet, 2019a). Ved flyging med droner utendørs gjelder luftfartsloven (Lov om luftfart (luftfartsloven), 1993). For bestemmelser knyttet direkte opp mot bruk av droner er «Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord». Forskriften går mere direkte inn på praktisk bruk og spesielle bestemmelser om RPAS. Kapittel 1, 3, 4, 7 og 11 i denne forskriften er av betydning for gjennomføring av oppgaven. Disse vil bli brukt i utarbeidingen av operasjonsmanualen sammen med materiell fra Luftfartstilsynet (Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv., 2015).

Kravet om RPAS sertifikat ble endret sommeren 2018. For flyging i klasse RO1 er det ikke krav om sertifikat, men i klasse RO2-3 er det et krav. Kravene til de forskjellige RO-klassene, går i hovedsak ut på høyde (AGL), visuell kontakt med dronen, vekt på dronen og området det gjennomføres flyging i. Ved flyging i RO1 er man begrenset til å operere under 120 meter AGL, MTOM (takeoff vekt) må være under 2,5 kg, all flyging må skje VLOS (innenfor synsrekkevidde), og man kan ikke fly i nærheten av folkeansamlinger >150 personer. I tillegg er det en rekke krav når det kommer til ordinær lufttrafikk og sikkerhetsavstander til innflygninger og lufthavner (Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv., 2015).

6.7.2 RGB-sensorens funksjon og bildets oppbygning

Et RGB-bilde består av mange pixler, og et digitalt RGB-bilde består oftest av flere millioner (Mega) Pixler (MP). Det totale antallet pixler i et RGB-bilde beregnes ut ifra et to-dimensjonalt bilde, der antallet pixler vertikalt multiplisert med antall horisontalt, utgjør totalen. Flere pixler betyr høyere oppløsning eller skarphet på bildet. Hver pixel er bygd opp av en gråtoneskala fra 0-255, der 0 er svart og 255 er hvit, dvs. 256 forskjellige verdier for hvert spekter. En RGB-sensor har tre spekter, R=rødt,

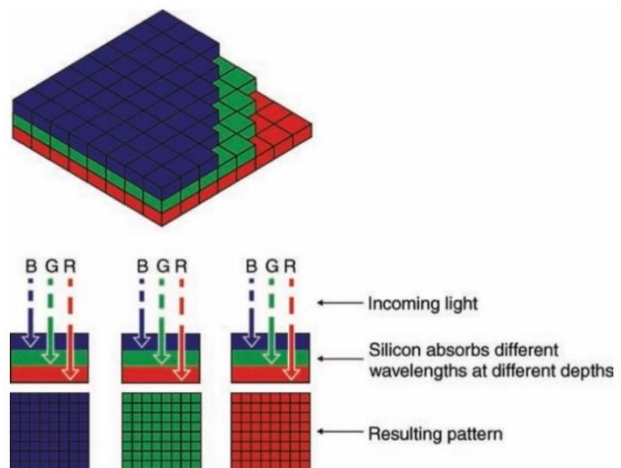


G=grønn, og B=blå (Nilsen, 2014), se figur 3. Ofte er RGB bilder representert i et 24-Bit format, der man har tre 2-dimensjonale

Figur 3 Forsøksfeltet på Staur, a) viser RGB, b), c) og d) viser henholdsvis Rød-, Grønn- og blå-spekter i gråskalaverdier.

matriser i hver respektive spekter, se figur 4 (resulting pattern). Hver matrise inneholder en gråtoneskala verdi fra 0-255 som er gjengitt i en 8-Biters verdi, se figur 3 og 4. Kombinerer man de tre 8-biter blir det 24-biters format.

Et 24-biters format tillater muligheten for ca. 16 millioner fargekombinasjoner, (2^{24}). Hovedoppgaven til sensoren er å omforme EM energi til elektriske signaler. Dette kan gjøres med enten en CCD-brikke (Charge-Coupled Devices) eller CMOS-brikke (Complementary Metal Oxide Semiconductor). CMOS teknologien er billigere å produsere og krever mindre energi for å drives. Ulempen sett opp mot



Figur 4 Oppbyggingen av en CMOS-sensor, hentet fra: (Marques, 2011)

CCD teknologi er, at CMOS har mere støy ved dårlig lyssetting (Marques, 2011), se figur 4.

6.7.3 Fjernmåling i forsøksfelt med UAV

For å kunne gjennomføre innsamling med drone presist og effektivt, bør man bruke et autopilotprogram. Dette for å sikre at man flyr konsekvent på én høyde, og at man har nok

overlapp, slik at stitching-programmet klarer å sette bildene sammen til en mosaikk (Khan, Rahimi-Eichi, Haeefele, Garnett, & Miklavcic, 2018), (Rasmussen, et al., 2016), (Du & Noguchi, 2017) og (Lu, et al., 2019). Lysforholdene under flyvning skal man også være oppmerksom på, da refleksjonen fra plantene kan variere mye fra overskyet vær til sol. Rasmussen, et al. (2016) konkluderte i sitt forsøk, gjennomført på høstbygg og vårhvete i Danmark, at det er best å fly når det er lett overskyet med jevnt skydekke. Dette skaper det beste lyset. Om man skal samle inn data når det er sol, bør resultatene korrigeres for solvinkel og refleksjon. Man bør ikke fly om det er skiftende skydekke.

Korrigerings av refleksjon gjennomføres ved at bilde er tatt med kameraet før flygning, mot et objekt/kalibreringspanel med kjent refleksjonsverdi. For eksempel vil en flate som er helt svart reflektere svært lite i forhold til en flate som er helt hvit. Korrigerings av refleksjon minimerer forskjeller i datagrunnlaget, når man skal bearbeide bildene til f.eks. binære bilder for å se på vegetasjonsdekning (CC). Haghightalab, et al., (2016) brukte i tillegg noen større objekt, med kjent refleksjonsverdi som ble registrert under selve flygingen. Hvert kalibreringspanel ble målt fra 0,5 meter med ASD spectroradiometer på dager med sol for kalibrering av refleksjon. Dette ble gjort for å finne refleksjonsverdien til disse kalibreringspanelene. Kalibreringen av mosaikkene ble gjennomført ved å bruke empirisk linjemetode, for å konvertere digitale nummer i bildene til refleksjonsverdier innhentet av ADS spectroradiometer og kalibreringspanelene. Forholdet mellom refleksjonsmålingene og de digitale verdiene til hvert spekter er ikke helt lineære. Det ble derfor valgt å kalkulere prediksjonslikningen for hvert spektralbånd og deretter konvertere de digitale verdiene til refleksjonsverdier. For å relatere fjernmålte data opp mot bakkemålinger, ble den gjennomsnittlige pixelverdien (gråskala) for hvert spekter fra hvert kalibreringspanel hentet ut og plottet mot den gjennomsnittlige refleksjonsverdien til de målt på bakken. Korreksjonskoeffisienten ble brukt for å tilpasse ikke kalibrerte multispektralbilder til målte kalibrerte verdier innhentet i feltet. Dette ble gjennomført på hvert spekter, og deretter på hele mosaikken.

Høyden data innsamles fra varierer i litteraturen. Rasmussen, et al. (2016) konkluderte med at vegetasjonsindekser kan teoretisk samles inn med drone fra 1-100 meter AGL, da de fløy på 30 og 70 meter AGL. Dette stemmer med det Khan, et al., (2018) fant da de fløy på 20-30 meter AGL, der de hadde en GSD (Ground Sampling Distance) på henholdsvis 2,0 cm/pixel og 1,3 cm/pixel for 30 og 20 meter AGL. Du & Noguchi (2017) fløy på 100 meter AGL, og med kamerat de brukte i forsøket hadde de en GSD på 2,5 cm/pixel. Et forsøk gjennomført i Rugao,

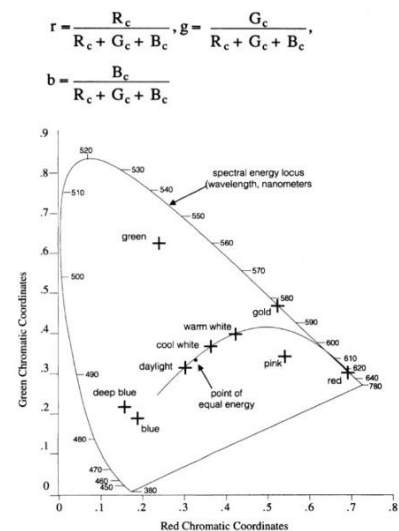
Jiangsu provinsen Øst i Kina fløy de på 30 meter AGL, med en GSD på 1,66 cm/pixel. Der konkluderte de med at nøyaktigheten i estimeringen av biomasse var like stor, med en GSD på 13,28 cm/pixel, noe som er 1/8 del av originalbilde. Dette tilsier at flyhøyden kunne vært mye større i dette tilfelle.

For bedre å kunne gjengi høydeforskjeller og få bedre stitching av mosaikken brukes det ofte GCP (Ground Control Points). Dette er punkter som samler inn GPS-informasjon og ligger i feltet når man gjennomfører flyvningen (Propeller Aero, 2019). GCP sees igjen i stitching-programmet der de blir merket og er med på å korrigere utformingen av mosaikken. I flere studier der det er flydd med drone over forsøksfelt er det benyttet GCP for å danne en mer nøyaktig gjengivelse. I litteraturen varierer antallet brukte GCP fra 8-25 stk. Dette kommer an på arealets størrelse. Det er i disse forsøkene sett på arealer i størrelsesorden 1-100 daa og det ble brukt flest GCP i forsøket med det minste arealet, (Du & Noguchi, 2017; Khan, Rahimi-Eichi, Haeefe, Garnett, & Miklavcic, 2018; Lu, et al., 2019).

Etter flyging legges bildene inn i et stitching-program f.eks. Pix4DMapper (Pix4D SA, 2019). Det er viktig at dette programmet finner nok kjente punkter som samhandler med hverandre, og at det er nok overlapp på bildene under flyging. Rasmussen, et al. (2016) konkluderer med at man minimum bør ha 75% overlapp forover, og 60% til hver side. Det er også viktig å ha tilstrekkelig overlapp rundt forsøksområdet slik at forsøksfeltet er dekket likt med overlapp-prosent på bildene. Dette samsvarer med forøket gjennomført i Rugao, Jiangsu provinsen Øst i Kina der de hadde 80% overlapp forover og 60% til hver side (Lu, et al., 2019).

6.7.4 Indekskalkulatorer for RGB

For at RGB-verdiene kan brukes i modeller for å beregne biomasse og vegetasjons dekning, må man kunne skille mellom refleksjoner fra jord og planter, slik at man ikke tar med alle refleksjonene i beregningen. Dette kan føre til feil i beregningene. Woebbecke, Mayer, Von Bargaen, og Mortensen (1995) så på hvordan man best kunne skille plantebasert materiale fra jord, ved bruk av indekskalkulatorer. I bildet ble det valgt et «område av



Figur 5 Det Kromatiske koordinatsystem, og beregning av r, g og b verdi fra R_c, G_c og B_c - verdier, hentet fra: (Woebbecke, Mayer, Von Bargaen, & Mortensen, 1995)

interesse» dvs. et måleområde som er likt for alle målingene. En av metodene som ble brukt baserte seg på kromatiske koordinat systemet. Man bruker målte RGB verdier for «*område av interesse*» (R_c , G_c og B_c), se figur 5, til å beregne de kromatiske r, g og b verdiene, som brukes i indeksekalkulatoren. Blant indeksene som ble testet var, $(g-b)/|r-g|$ og $2g-r-b$. Indeksen som ga best separasjon mellom plantemateriale og bakgrunn var $2g-r-b$ (ExG). Rasmussen, Nørremark, & Bibby (2007) så på bruken av ExG for å skille jord og plantemasse for å se på effekten av ugressharving. For å analysere bildene ble det satt en terskelverdi for ExG, der alt over ble satt som 1 og alt under terskelverdien som 0, som skaper et binært bilde. Et binært bilde har enten en 1 eller 0 verdi, der 1 er hvit og 0 svart. Kameravinkel rett ned var å foretrekke, da dette ga minst påvirkning på den generelle vurderingen av bildene. I dette forsøket var kamerahøyden 110 cm over bakken. Meyer og Neto (2008) testet ut om man ved bruk av indekser kunne skille plantemateriale og jord automatisk. Det ble brukt en metode som kalles Otsu, som baserer



Figur 6
Binært bilde
til høyre fra
vårhvetete på
Gihle

seg på analyse av histogrammet for nær-binære bilder etter indeksekalkulering. ExR-ExG (excess red – excess green) viste seg å være best til å skille planter og bakgrunnsmateriale. De konkluderte med at vegetasjonsindekser kommer til å være et viktig verktøy for å indentifisere hva som er planter og hva som er jord når man bruker datamodeller til å analysere data.

Fjernmåling med drone og RGB-sensor kan innhente en rekke parameter som er korrelerte med viktige planteegenskaper. Over har vi nevnt at vi ved hjelp av vegetasjonsindekser som ExG kan skille mellom hva som er plantemasse og hva som er jord. Dette kan brukes til å beregne dekningsgrad for plantene. Vegetasjonsindeksen ExG har også vist seg å korrelere godt med avling. Dette kan ha sin årsak i at biomasse og avling er positivt korrelert (Golik, Chidichimo, & Sarandón, 2005). I studien til Du & Noguchi, (2017) der de visualiserte hvetens vekststatus gjennom vekstsesongen, så de at grønneten (indeksverdien) nådde en topp, før gulmodning startet. Deretter minket indeksverdien. Avling og vegetasjonsindeksen var godt korrelerte i denne studien. For estimering av resistens mot soppsykdommen gulrust (*Puccinia striiformis*), som angriper bladene på kornet og en lang rekke andre vekster. Kan det brukes lignende vegetasjonsindekser (NDVI, HIS, (Intensitet, fargetone og metning), GF, (grønn fraksjon), og GGF (relative grønnere fraksjon)) som ser på hele forsøksruten. Vergara-Diaz, Kefauver, Elazab, Nieto-Taladriz, & Araus, (2015), så på bruken av RGB-foto til

estimering av gulrust i durumhvete. De fant signifikant sammenheng mellom indeksene, avling og avlingstap-indeks. Avlingstap-indeksen ble kalkulert på grunnlag av vekstsesongen året før, da det ikke var gulrust i åkeren. Avlingstap-indeks = $(\text{avling 2013/2014} - \text{avling 2012/2013}) / (\text{avling 2013/2014}) * 100$. De konkluderte med at bruken av RGB indekser er: raskere, mer representativt fordi de tar med hele forsøksruten, og mer objektiv sammenlignet konvensjonelle metoder, som ser på utvalgte områder i forsøksruten. Zhou, et al., (2015) fant en lignende sammenheng i sin studie av resistens mot gulrust på hvete. De så også at indeksene (HIS, (Intensitet, fargetone og metning), GF, (grønn fraksjon), og GGF (relative grønnere fraksjon)), stemte bedre med avling og avlingstap-indeks, enn visuell skåring av sykdomsangrepet i kornfyllingsperioden. De konkluderte med at RGB bilder er en billig, men effektiv måte til å vurdere resistens mot gulrust i hvete.

7. Materiale og metode

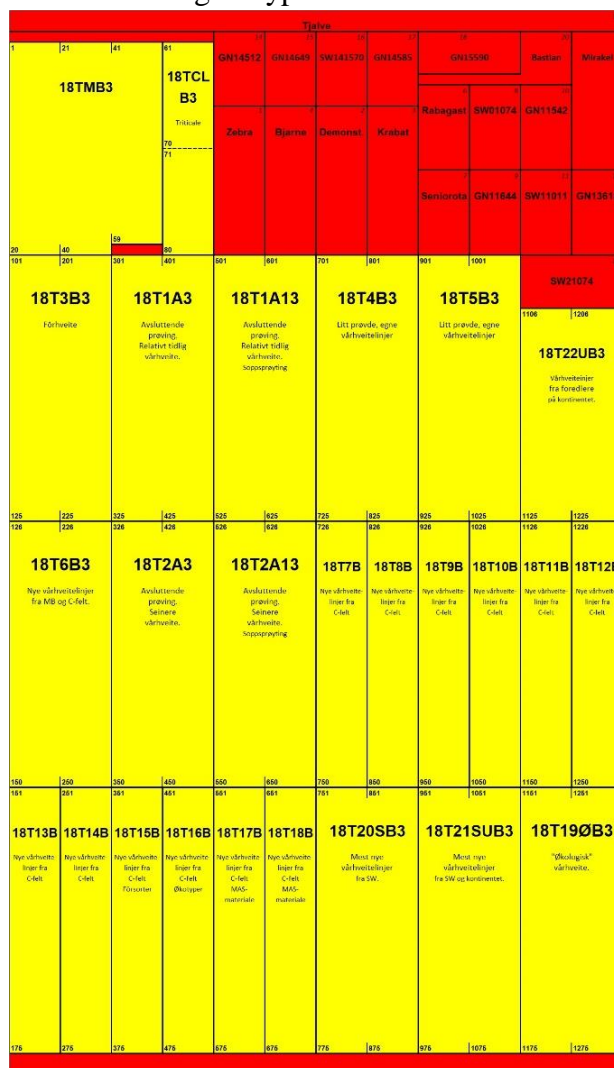
7.1 Området og feltforsøk

Forsøkene ble gjennomført i Graminor sine foredlingsforsøk i vårhvete på Gihle gård i Hamar kommune og på Staur gård i Stange kommune, begge i Hedmark fylke, Norge. Noen av forsøksfeltene består av tidligere prøvde norske linjer og utenlandske linjer. De er sådd i forsøk med 25 genotyper med to gjentak i hvert forsøk. Tre av forsøksleddene er markedssorter som er med som målestokker i hvert forsøk. Forsøkene er sådd på forskjellige lokasjoner, blant annet Gihle og Staur. Det er på hver lokasjon forskjellig randomisering på forsøkene. For nye foredlingslinjer fra Graminor er det bare sådd et gjentak av hvert forsøksledd på hver lokasjon. I tillegg til Gihle og Staur er andre gjentak av de samme genotypene sådd to andre steder.

Resultatet fra de fire gjentakene analyseres sammen. I tillegg er det noen mindre forsøk som ikke passer helt inn i den vanlige malen samt noen oppformeringer som er med i forsøksarealene. Rutestørrelsen er 1,5 x 5 meter, og utenfor forsøksruten er det sprøytet ut en gang på en meters bredde i hver ende av forsøksruten.

7.1.1 Gihle

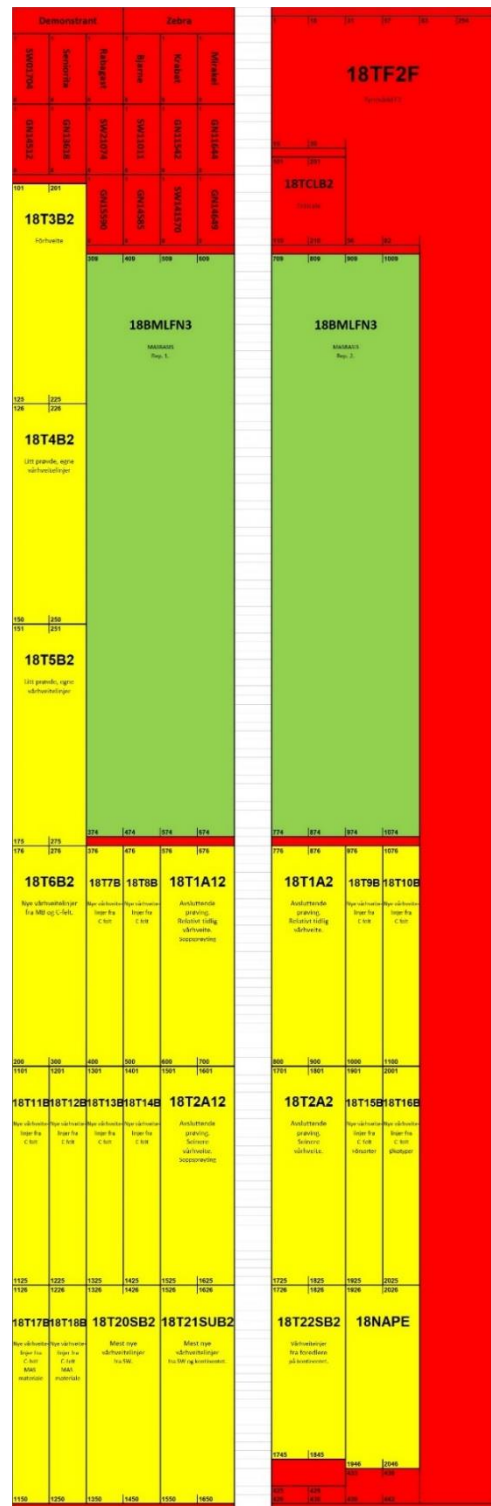
Forsøksfeltet på Gihle gård er på 969 forsøksruter. UTM33 (6746347,31N, 293540,32Ø). Vårpløyd forsøksfelt som er gjødslet den 16.05.2018 med eksaktspreder og deretter harvet ned. Det ble brukt 12 kg N. Det ble sådd den 18.05.2018. Den 20.06.2018 ble det sprøytet korridorer mellom forsøksrutene. 26.06.2018 ble det sprøytet mot ugress, med Hussar OD + Attribute SG 70. Forsøksfeltet ble høstet i perioden 23-25.08.2018.



Figur 7 Forsøksfeltet på Gihle, merket i gult er forsøksruter, rødt kanter og oppformeringer.

7.1.2 Staur

Forsøksfeltet på Staur er på 902 + 528 forsøksruter. UTM33 (6738994,19N, 287701,2Ø). Høstpløyd forsøksfelt som er gjødslet med Rapid. Det er gjødslet med 12 kg N. Forsøkene ble sådd den 09.05.2018. Den 23.06.2018 ble det sprøytet korridorer mellom forsøksrutene. 21.06.2018 ble det sprøytet mot ugress, lav dosering med Express SX. Det er gjennomført vanning av forsøksfeltet i tre omganger. Første gang, 4-5.06.2018, ble det vannet med 30 mm. 9-10.06.2018 ble det vannet med 50 mm. Siste vanning ble gjennomført den 12-13.06.2018 med 30 mm. Forsøkene ble høstet den 13.08.2018, mens MASBASIS felt ble høstet 28.08.2018.



Figur 8 Forsøksfeltet på Staur, merket i gult er Graminors forsøksruter, grønt er forsøk planlagt av NMBU til diverse forskningsprosjekter (MASBASIS), og rødt kanter og oppformeringer.

7.2 Utstyr

Som et delmål i oppgaven, skulle behovet for hvilket utstyr som skulle anskaffes til vekstsesongen 2018, utredes. Vedlegg 1 går nærmere inn på begrunnelsene for valgene som ble gjort før innkjøp av utstyr.

7.2.1 UAV

For å samle inn data ble det brukt en Dji Phantom 4 Pro RTF-drone, med medfølgende RGB sensor (1“CMOS, med 20MP) innfestet med gimbal, noe som gjør at kameraet er stabilt (DJI, 2019). Dronen og billedtaking ble automatisk styrt med Pix4DCapture app via Ipad koblet til kontrolleren (Pix4D SA, 2019). Det ble valgt å fly på 50 meter AGL i retning med forsøkene for å minske forsøksfeilen ved endret skydekke (minst mulig variasjon innen et gjentak). For begge områdene ble det fløyet i ca. 10 minutter pr flyging. Kameravinkel var rett ned. GSD var på 1,36 cm/px. Overlapp var 80% forover og 70% til sidene. Hastigheten på dronen var satt til 2,9-3,3 m/s. Eksponeringstid var satt gjennom Pix4DCapture, enten på «Overcast» ved overskyet/diffust lys, eller «sunny» ved sol/direkte lys.

7.2.2 Datamaskinvare (Hardware)

For å gjennomføre stitching av bilder til mosaikk, samt prosessering av mosaikk ble det anskaffet en HP Elitebook 840 G5, se spesifikasjoner i tabell 1.

Tabell 1 Spesifikasjoner HP Elitebook, (HP Development Company, 2019)

HP Elitebook 840 G5	
Prossessor	Intel Core I7 8550U
Minne	8 GB
Lagring	256 GB SSD
Grafikk	Intel HD Graphics 620
Operativsystem	Windows 10 Pro 64 bit

Det ble også skaffet til veie en ekstern harddisk (HDD) da datamengden som skulle lagres ble for stor til lagring på bærbar PC. En 2 terrabyte (TB) Toshiba ekstern HDD med USB 3.0 ble anskaffet til dette. Overføringshastigheten er på 5,0 Gbit/s (Toshiba Electronics Europe GmbH, 2019).

7.2.3 Programvare (Software)

Det ble brukt flere typer programvare, både til flightplanlegging, stitching av mosaikker og behandling av mosaikkene.

Autopilot program (flightplan)

I forkant av forsøkene ble det sett på flere flightplanprogrammer til Apple Ipad. I tabell 2 er det en oversikt over disse. Testen ble utført ved lav flyging over ujevnt terreng (bakke/høyder) autonomt, med oppdrag der det kreves batteribytte underveis.

Tabell 2 Oversikt over programmer og begrensninger på disse, (Pix4D SA, 2019), (Sentera Inc., 2019), (DroneDeploy, 2019) og (DJIFlightPlanner, 2019).

Programvare	Min høyde	Maks høyde	Kompatibilitet	Feil/problem	Pris	Testet
Pix4DCapture	10	120	Phantom 3 og 4 mf.	Ingen	Gratis	Ja
Sentera AgVault	3	120	Phantom 3 og 4 mf.	Ved batteribytte	Gratis	Ja
DroneDeploy	10	120	Phantom 3 og 4 mf.	Ingen	Gratis	Ja
DJIFlightPlanner	n/a	120	Phantom 3 og 4 mf.	Ingen	99 US\$	Nei

Det ble valgt å bruke Pix4DCapture da denne var enkel å bruke, gratis og hadde ingen feil eller mangler under testing. Det er også samme leverandør som leverer stitcing-programmet.

Sammenstilling av bilder til mosaikk (stitching)

Det finnes flere programmer på markedet for stitching av bilder til mosaikk. Det ble her brukt Pix4DMapper på anbefaling fra Jesper Cairo Westergaard (UCPH), og funn gjort i 6JB250 Feltmekanisering 1 innleveringsoppgave på Blæstad (Ødegaard, 2018). Programmet gir også mulighet for nøyaktighet (GCP om ønskelig), samt redigering av pointcloud (punkttsky) (Pix4D SA, 2019).

Behandling av mosaikk

Behandlingen av mosaikk skjer i PlotCut Pro 2, et program utviklet for samarbeidspartnere i 6P2-prosjektet. Dette programmet ekstraherer hver enkelt forsøksrute, navngir og deretter beregner R, G, B verdier, RGB total verdi, ExG og vegetasjons dekning (CC). CC beregnes ved å bruke ExG verdien der man setter en terskelverdi for hva som er klassifisert som plantemateriale og hva som er klassifisert som jord. CC kommer ut som en tallverdi i prosent, sammen med et binært bilde der man kan kontrollere om programmet har kalkulert riktig. Hver forsøksrute får et ekstraksjonsområde som er 20% mindre i topp/bunn lengderetning, og 5% mindre på hver side i bredden. Dette gjøres for å hindre at man tar med områder utenfor ruten, og for å unngå kanteffekter i hver rute (Westergaard, 2018a).

Flytskjema

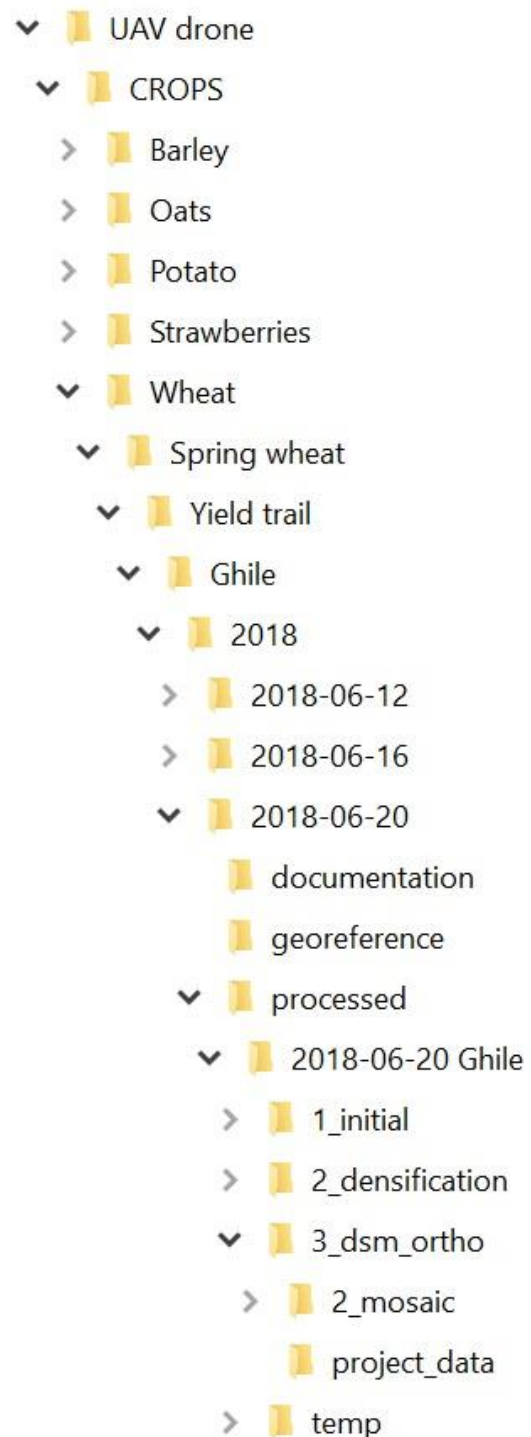
Flytskjema ble utarbeidet ved bruk av Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2019a) tverrfunksjonelt flytskjema mal, sammen med Visio (Microsoft Corporation, 2019b) tverrfunksjonelt flytskjema.

Annen programvare

For gjennomføringen av skriveingen er det benyttet Microsoft Word (Microsoft Corporation, 2019c). Til gjennomføring av statistikk ble det brukt Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2019a).

7.2.4 Overføring, lagring og mappestruktur

Overføring av data innsamlet med drone skjer via USB 2.0 kabel koblet mellom drone og PC, som deretter overføres til ekstern HDD. Et godt system for lagring av data er viktig især når man har flere flyginger over tid på samme området. I dette prosjektet har vi brukt oppsett utarbeidet av (Westergaard, 2018a), der det er fulgt ISO format YYYY-MM-DD (år-måned-dag) for hver flyging. Denne mappen er også utformet likt for hver flyging med undermapper: Dokumentasjon, Georeferanser, Prosessert, Skjermbilder, og Kilde, der «Kilde» er hvor rådata lagres, mens alle prosesserte bilder ligger under «Prosessert». Både Pix4DMapper og PlotCut Pro 2 delprosesser, rapporter og ferdig behandlede filer er plassert der.



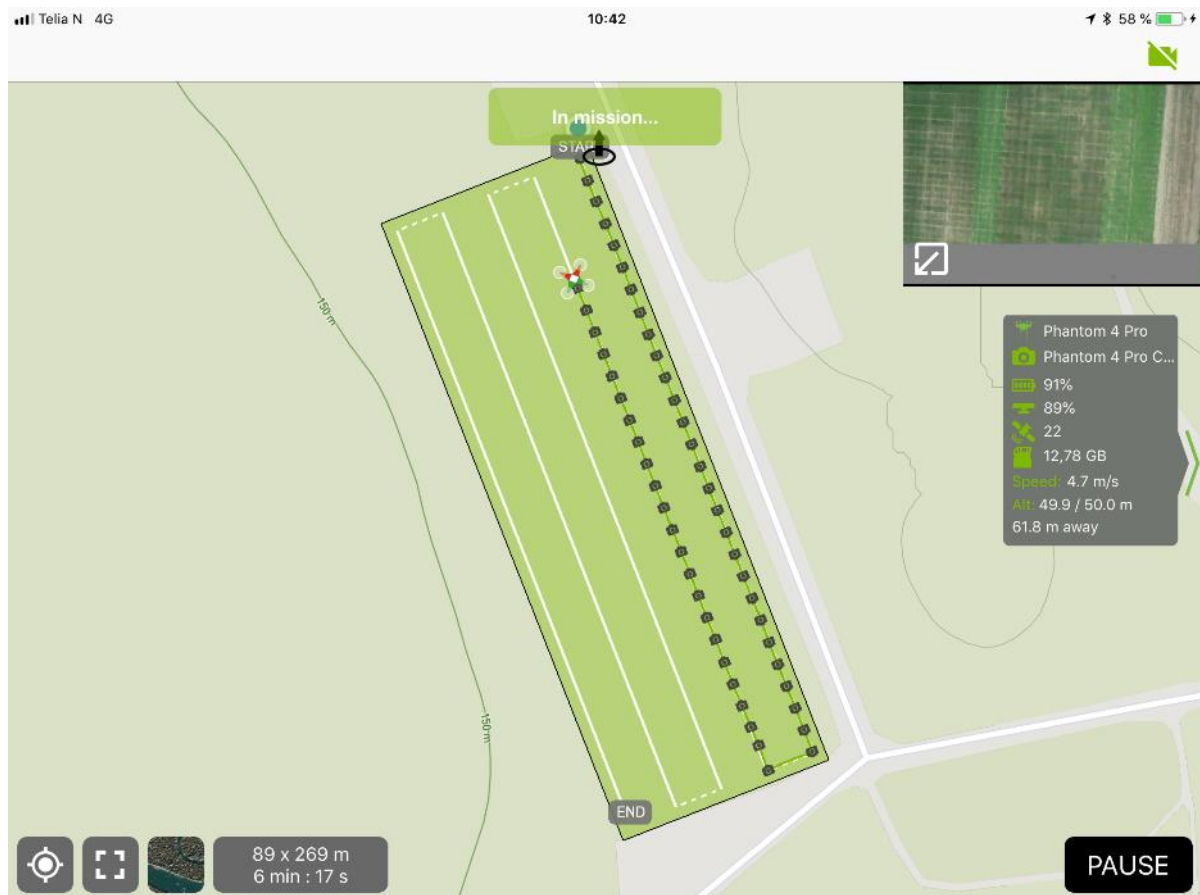
Figur 9 Illustrasjon av mappestruktur.

7.3 Gjennomføring av forsøk

Før oppstart av droneflygingen ble det utarbeidet en operasjonsplan i henhold til krav fra regelverket (se vedlegg 4). Det ble brukt samme flightplanoppsett på hver flyging for hver lokasjon se 2.2.1 UAV. Lysforhold, tidspunkt for flyging (lokal tid), høyde med mer, ble notert i logg utarbeidet av (Westergaard, 2018b). Oversikt over flygingene kan ses i tabell 3. Det ble i samråd med foredleren bestemt å fly på tvers av forsøksrutene, med retningen på forsøkene. Dette for å minske forskjeller innad i hvert gjentak i forsøksfeltene, om det skulle være skiftende skydekke.

Tabell 3 Oversikt over tidspunkt, lokalitet, klokkeslett (lokal tid), tidsforbruk, høyde, lysforhold og vekststadiet for Graminor sine forsøksfelter på Gihle og Staur i vårhvete 2018

Dato	Lokalitet	Klokkeslett	Tidsforbruk	Høyde	Lysforhold	Stadiet
12.06.2018	Gihle	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20.06.2018	Gihle	10:00	15 min	50 m	Overskyet	n/a
28.06.2018	Gihle	13:30	10 min	50 m	Sol	Busk
05.07.2018	Gihle	16:40	10 min	50 m	Sol	n/a
12.07.2018	Gihle	19:45	10 min	50 m	Skyet	n/a
30.07.2018	Gihle	11:30	10 min	50 m	Overskyet	n/a
06.08.2018	Gihle	12:15	15 min	50 m	Overskyet	Gulmoden
Tot. Reg.	7	6	6	6	6	2
20.06.2018	Staur	10:40	10 min	50 m	Overskyet	n/a
28.06.2018	Staur	14:15	10 min	50 m	Sol	n/a
05.07.2018	Staur	17:20	10 min	50 m	Sol	n/a
12.07.2018	Staur	19:00	10 min	50 m	Skyet	n/a
30.07.2018	Staur	12:30	10 min	50 m	Overskyet	n/a
06.08.2018	Staur	12: 40	10 min	50 m	Overskyet	Modent
Tot. Reg.	6	6	6	6	6	1



Figur 10 Skjerm bilde av gjennomføring av en flyging på Staur. Pix4DCapture i bruk, (Pix4D SA, 2019).

Figur 10 viser gjennomføringen av en flyging på Staur. Visningen på skjermen for tredjeparts applikasjon Pix4DCapture, for autonom styring av dronen og kamera fra takeoff til landing.

7.4 Statistikk

Data innhentet med drone ble kjørt gjennom PlotCut Pro 2. Derfra kommer data med referanser til forsøk og rutenummer. Data ble sortert og satt sammen med datasett fra foredler med avlingsmengde pr. rute for begge lokalitetene.

Det er valgt å gjennomføre en enkel lineær regresjon for hver flyging på hver lokalitet, mellom ExG og avling på hver rute. Dette for å se forskjellene mellom dagene på en best mulig måte. Det ble valgt å bruke justert R^2 som tar høyde for datasettets størrelse og er forventningsrettet (Løvås, 2018). På lokalitet Gihle ble det valgt å ta utgangspunkt i den dagen da ExG verdi hadde størst korrelasjon med avling. Resultatene fra målingene i Demonstrant, Zebra og Krabat for denne flygingen ble brukt for å vurdere resultatene fra hele feltet. Grunnen for å velge Demonstrant, Zebra og Krabat, er at disse sortene er stabile (skal prestere like godt, modnes likt mm.) forutsatt at alle andre faktorer er like (gjødsling, jordsmonn mm.). Det er også disse sortene som er gjentatt flest ganger på lokaliteten fordi de er med som målestokker i alle forsøkene. Det samme ble gjennomført på lokalitet Staur.

I et av forsøkene (18T1A) var det notert dato for gulmodning på begge lokalitetene. Det ble valgt å kjøre regresjonsanalyse for den dagen med best korrelasjon mellom ExG-verdi og avling for hver av lokalitetene. Bakgrunnen for å ta 18T1A, var for å kunne forklare resultatene man fikk på lokaliteten bedre, ved å ha dato for gulmodning.

8. Resultat

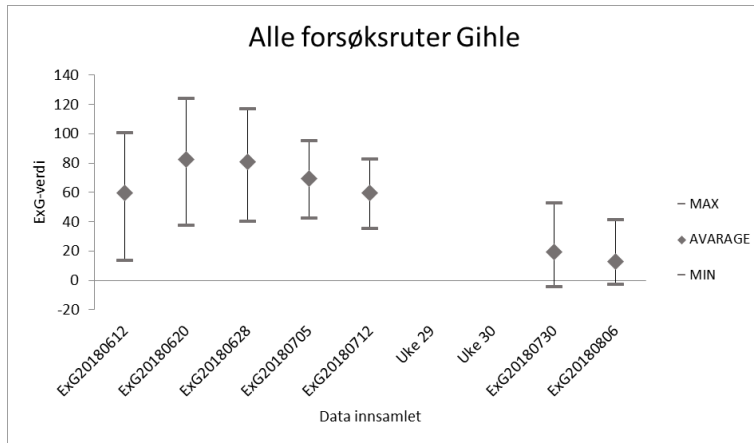
Tabell 4 Oversikt over datasett, n = antall observasjoner, x = gjennomsnitt, SD = Standardavvik, Min = minste verdi, Max = største verdi.

	n	x	SD	Min	Max
Avling Gihle, gram	910	3745	807,51	1594	5402
ExG 20180612 Gihle	910	59,53	13,93	13,34	100,53
ExG 20180620 Gihle	910	82,34	13,72	37,13	123,84
ExG 20180628 Gihle	910	81,07	11,97	40,23	116,57
ExG 20180705 Gihle	910	69,14	8,36	42,18	95,22
ExG 20180712 Gihle	910	59,70	7,21	35,34	82,34
ExG 20180730 Gihle	910	19,34	12,31	-4,37	52,41
ExG 20180806 Gihle	910	12,69	6,32	-2,89	40,96
ExG gjennomsnitt Gihle	910	54,83	8,39	27,22	80,37
Avling Staur, gram	855	2900	876,14	758	5331
ExG 20180620 Staur	855	65,47	16,65	27,85	101,38
ExG 20180628 Staur	855	55,21	15,70	19,81	88,54
ExG 20180705 Staur	855	45,53	8,52	25,41	71,98
ExG 20180712 Staur	855	51,41	12,08	20,74	78,13
ExG 20180730 Staur	855	12,69	7,54	0,47	41,22
ExG 20180806 Staur	855	18,11	8,93	1,65	43,50
ExG gjennomsnitt Staur	855	41,45	10,34	17,55	64,16
Avling Demonstrant Gihle, gram	38	3445,52	661,70	2045	4912
ExG 20180730 Demonstrant Gihle	38	15,46	10,18	-2,80	41,13
Avling Krabat Gihle, gram	33	3774,18	680,44	1820	4950
ExG 20180730 Krabat Gihle	33	13,74	8,80	1,15	35,98
Avling Zebra Gihle, gram	38	3809,76	726,04	1985	5097
ExG 20180730 Zebra Gihle	38	18,11	10,20	-1,27	40,07
Avling Demonstrant Staur, gram	34	2698,52	764,62	1109	3976
ExG 20180712 Demonstrant Staur	34	50,29	11,49	29,22	71,65
Avling Krabat Staur, gram	33	2759,87	804,74	1092	4079
ExG 20180712 Krabat Staur	33	46,40	11,85	23,68	67,64
Avling Zebra Staur, gram	36	2810,33	780,78	1027	4146
ExG 20180712 Zebra Staur	36	44,56	10,65	20,74	63,16
Avling 18T1A Gihle, gram	100	3362,53	617,96	1866	4933
ExG 20180730 18T1A Gihle	100	12,58	8,21	0,08	33,31
Avling 18T1A Staur, gram	100	3497	471,46	2590	4283
ExG 20180712 18T1A Staur	100	55,14	5,16	43,67	69,95

Fotnote 1 Gruppert etter lokalitet, totalt, sort, og forsøk av utvalgte data fra datasettet

8.1 Utvikling i ExG-verdi gjennom forsøksperioden

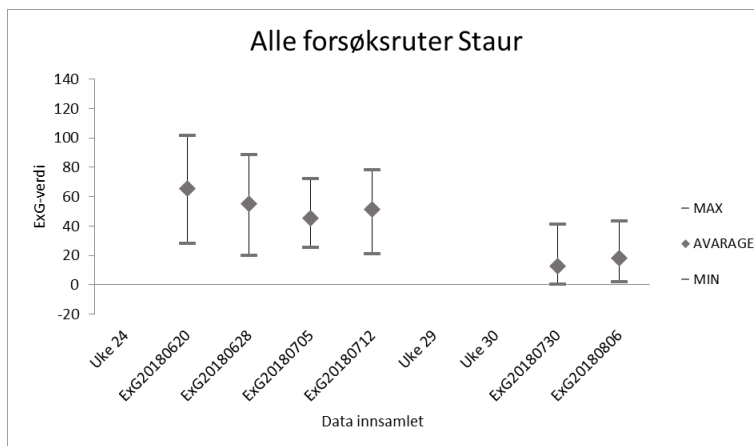
8.1.1 Gihle



Figur 11 Gjennomsnitt, minimum og maksimum verdi innhentet ved de forskjellige flygingene på Gihle

Figur 11 viser en økende utvikling i ExG-verdi, frem til den 20. juni da ExG-verdien når en topp, deretter en nedadgående utvikling mot siste flyvning den 08. august. Uke 29 og 30 var det ikke gjennomført registreringer. Data fra tabell 4 viser tallgrunlaget.

8.1.2 Staur

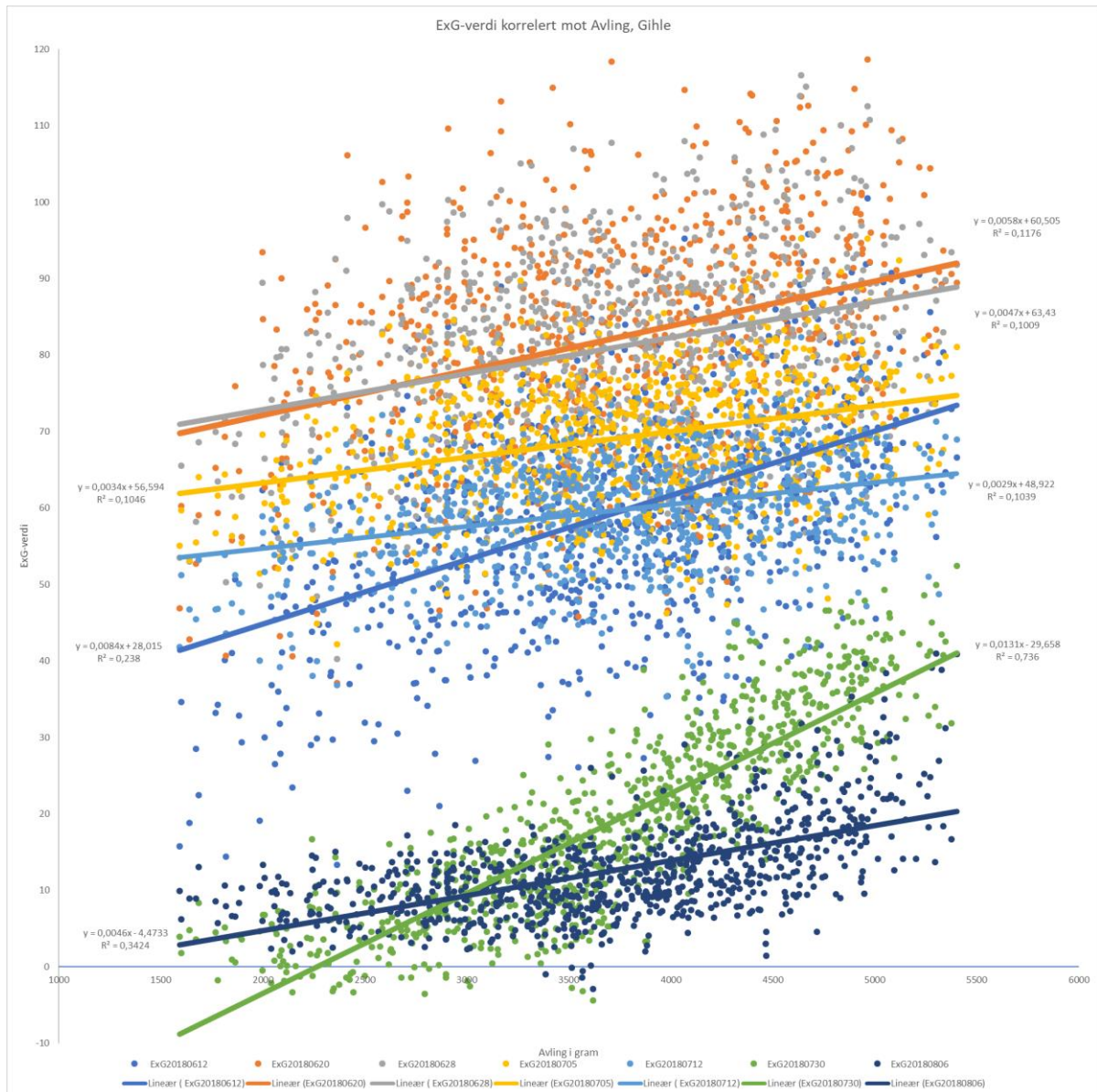


Figur 12 Gjennomsnitt, minimum og maksimum verdi innhentet ved de forskjellige flygingene på Staur

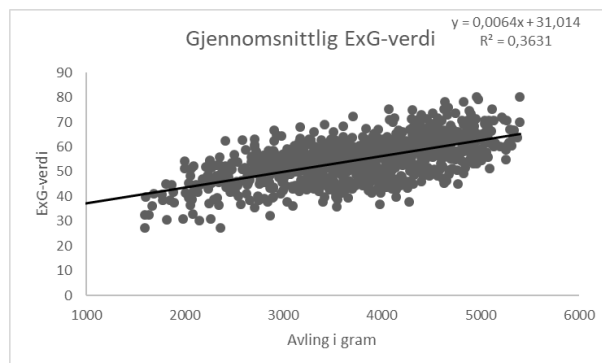
På Staur er det ikke gjennomført registreringer uke 24, 29 og 30. Det er en nedadgående utvikling i ExG-verdi fra 20. juni frem til den 05. juli. Det ses en økning i ExG-verdien fra den 05. juli til den 12. juli. Fra den 12. juli er det en nedgang i ExG-verdi frem til den 30. juli da den øker frem til den 08. august. Data fra tabell 4 viser tallgrunlaget.

8.2 Gihle

8.2.1 ExG-verdi for hele forsøksfeltet



Figur 13 Gjennomsnittlig ExG-verdier og Avling på alle forsøksfelter på Staur og Gihle.



Figur 14 ExG-gjennomsnitt for Gihle for alle flyvninger opp mot avling

Tabell 5 Justert R^2 og SF for ExG-verdi korrelert mot avling på Gihle for hver av flyvningene

	Justert R^2	SF
ExG20180612	0,23	12,16
ExG20180620	0,11	12,90
ExG20180628	0,09	11,36
ExG20180705	0,10	7,92
ExG20180712	0,10	6,83
ExG20180730	0,73	6,33
ExG20180806	0,34	5,13
ExG-gjennomsnitt	0,34	6,79

Fotnote 2 Standardfeil (SF)

Tabell 6 Resultat av regresjon for ExG-verdi korrelert mot avling på Gihle for hver flyvning

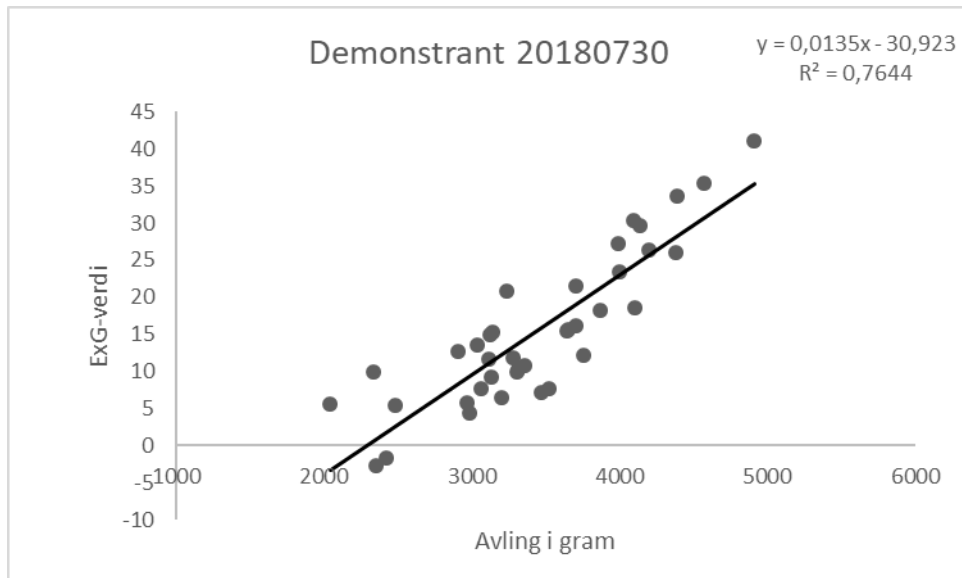
	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
ExG20180612				
Skjæringspunkt	28,01	1,91	<0,05	24,25 – 31,77
Avling	0,008	0,0004	<0,05	0,007 – 0,009
ExG20180620				
Skjæringspunkt	60,50	2,03	<0,05	56,52 – 64,48
Avling	0,005	0,0005	<0,05	0,004 – 0,006
ExG20180628				
Skjæringspunkt	63,43	1,78	<0,05	59,92 – 66,93
Avling	0,004	0,0004	<0,05	0,003 – 0,005
ExG20180705				
Skjæringspunkt	56,59	1,24	<0,05	54,14 – 59,04
Avling	0,003	0,0003	<0,05	0,002 – 0,003
ExG20180712				
Skjæringspunkt	48,92	1,07	<0,05	46,81 – 51,03
Avling	0,002	0,0002	<0,05	0,002 – 0,003
ExG20180730				
Skjæringspunkt	-29,65	0,99	<0,05	-31,61 – -27,70
Avling	0,013	0,0002	<0,05	0,012 – 0,013
ExG20180806				
Skjæringspunkt	-4,47	0,80	<0,05	-6,05 – -2,88
Avling	0,004	0,0002	<0,05	0,004 – 0,004
ExG-gjennomsnitt				
Skjæringspunkt	31,90	1,06	<0,05	29,80 – 34,00
Avling	0,006	0,0002	<0,05	0,005 – 0,006

Fotnote 3 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

Estimatet for ExG kan ses i tabell 6, der skjæringspunktet er hvor regresjonslinjen krysser y-aksen. Det ses en gradvis økning frem til den 28. juni, deretter minker den fram til den 30. juli. ExG-verdien for flygingen den 30. juli hadde størst korrelasjon med avling justert $R^2=0,73$ (forventningsrettet). For flyvningene før og etter den 30. juli ses mindre sammenheng.

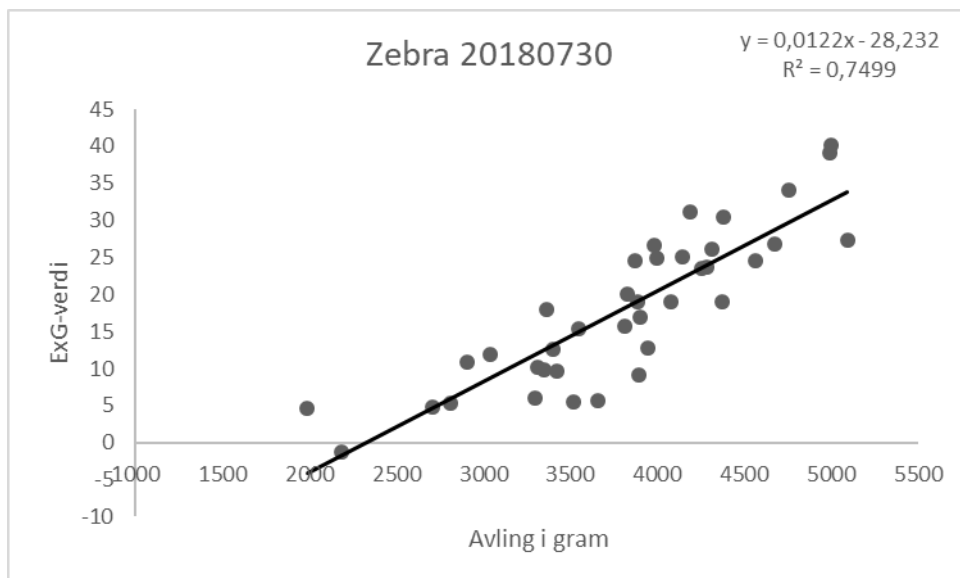
Utviklingen kan også tydelig ses i plottet for Gihle (se figur 13 og 14), opp mot utviklingen i ExG-verdi (figur 11) det er betydelig lavere verdier for de to siste flyvningene.

8.2.2 ExG-verdi på sort

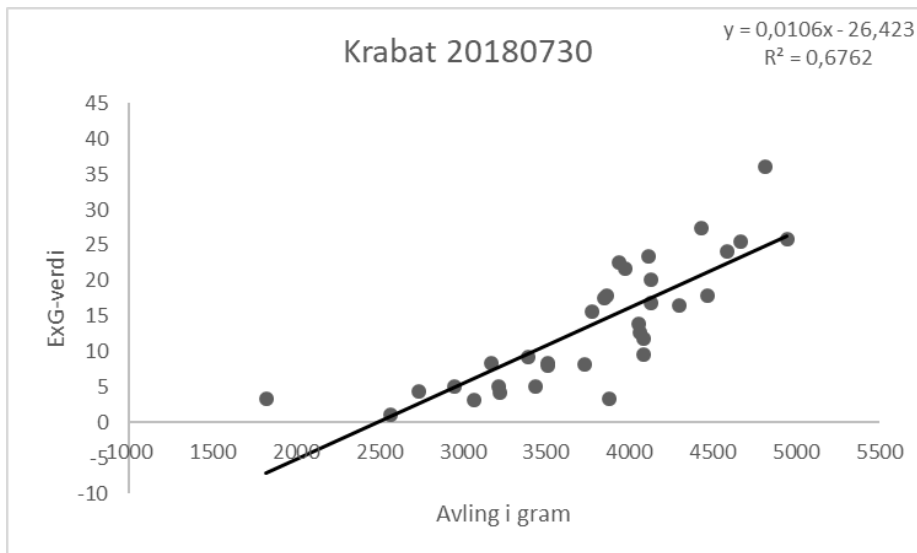


Figur 15 ExG-verdi samlet inn den 30.07.2018 mot avling for Demonstrant på Gihle

Figur 15 og 16 viser ExG-verdier for henholdsvis Demonstrant og Zebra på Gihle, relativt liten spredning rundt regresjonslinjen viser god korrelasjon mot avling den 30.07.2018. Zebra har jevnt over høyere avling enn både Demonstrant og Krabat (se tabell 4).



Figur 16 ExG-verdi samlet inn den 30.07.2018 mot avling for Zebra på Gihle



Figur 17 ExG-verdi samlet inn den 30.07.2018 mot avling for Krabat på Gihle

Krabat viser en mindre sammenheng enn for Demonstrant og Zebra mellom avling og ExG-verdi den 30.07.2018

Tabell 7 Justert R² og SF for ExG-verdi for sortene Demonstrant, Zebra og Krabat korrelert mot avling på Gihle for flygingen den 30.07.2018

	Justert R ²	SF
ExG-verdi Demonstrant	0,75	5,01
ExG-verdi Zebra	0,74	5,17
ExG-verdi Krabat	0,66	5,09

Fotnote 4 Standardfeil (SF)

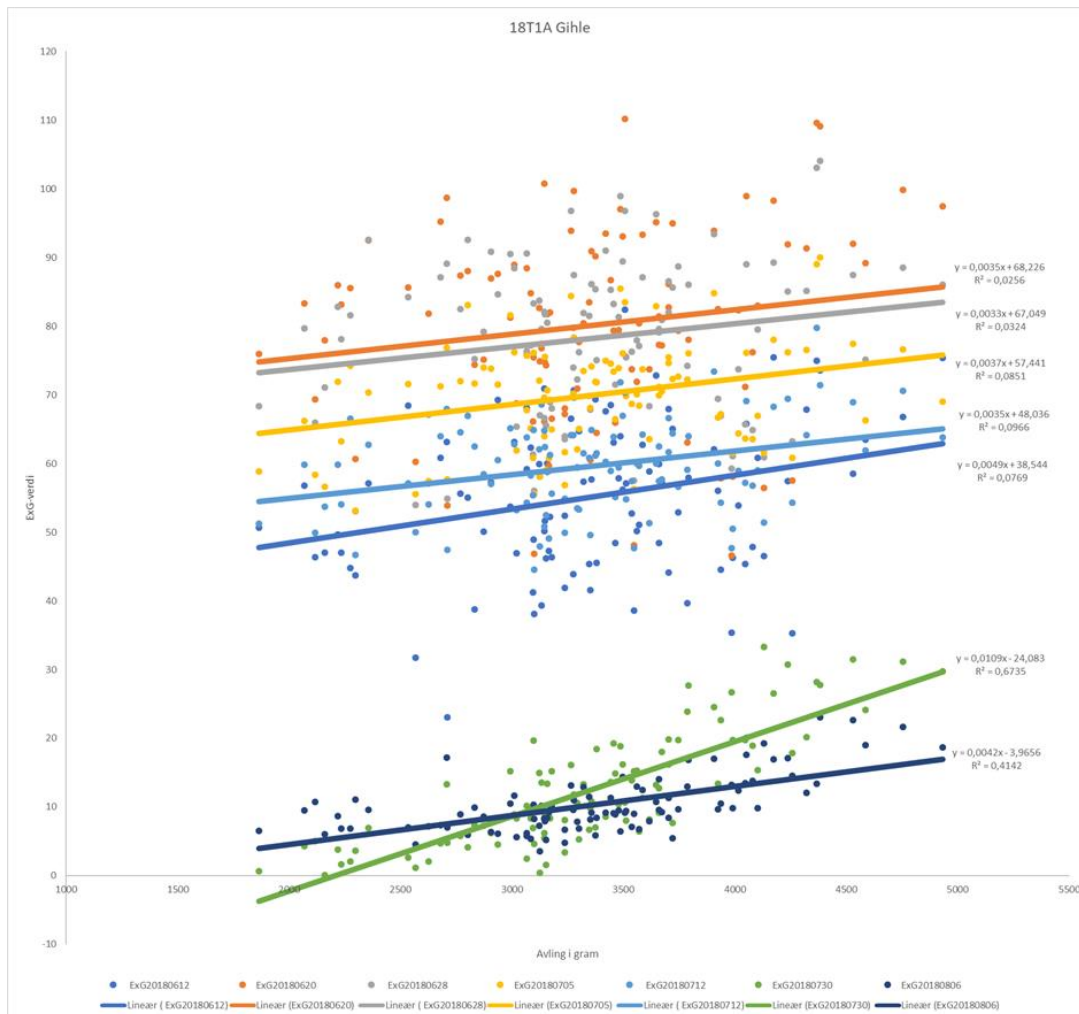
Tabell 8 Resultat av regresjon for ExG-verdi på sortene Demonstrant, Zebra og Krabat, korrelert mot avling på Gihle for flygingen den 30.07.2018

	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
ExG-Demonstrant				
Skjæringspunkt	-30,92	4,36	<0,05	-39,78 – -22,06
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,010 – 0,015
ExG-Zebra				
Skjæringspunkt	-28,23	4,53	<0,05	-37,43 – -19,02
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,009 – 0,014
ExG-Krabat				
Skjæringspunkt	-26,42	5,06	<0,05	-36,76 – -16,08
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,007 – 0,013

Fotnote 5 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

ExG-verdiene for flygingen den 30.juli på Demonstrant og Zebra viser en korrelasjon i likhet med hele feltet. Krabat viser en lavere korrelasjon, med en R²=0,66. Målingene på sort har lavere SF enn for Gihle totalt (se tabell 7 og 8).

8.2.3 ExG-verdi for 18T1A



Figur 18 Plot med ExG-verdi opp mot avling for hver flyging på forsøksfelt 18T1A på Gihle

Tabell 9 Resultat av regresjon for ExG-verdi for 18T1A korrelert mot avling på Gihle for flygingen den 30.07.2018

	Justert R ²	SF
ExG20180730	0,67	4,71

	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
<u>ExG-18T1A-20180730</u>				
Skjæringspunkt	-24,08	2,62	<0,05	-29,28 – -18,88
Avling	0,01	0,0007	<0,05	0,009 – 0,012

Fotnote 6 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

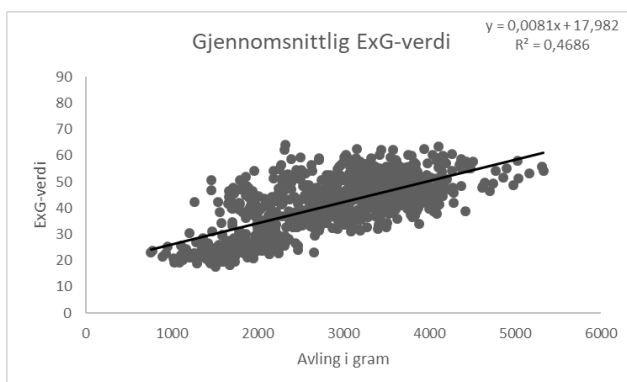
Korrelasjonen mellom avling og ExG-verdi for den 30.juli er lik Krabat for denne dagen, noe lavere enn for Demonstrant, Zebra og Gihle totalt. På 18T1A ble det notert gjennomsnittlig modning den 04.august. Det er her på 18T1A for Gihle, i liket med sortene, lavere SF i forhold til hele feltet.

8.3 Staur

8.3.1 ExG-verdi for hele forsøksfeltet



Figur 19 Plot med regresjonslinje for hver flyging opp mot avling



Figur 20 ExG-gjennomsnitt for Staur for alle flyginger opp mot avling

Tabell 10 Justert R² og SF for ExG-verdi korrelert mot avling på Staur for hver av flygingene

	Justert R ²	SF
ExG20180620	0,44	12,41
ExG20180628	0,42	11,94
ExG20180705	0,28	7,19
ExG20180712	0,44	8,98
ExG20180730	0,21	6,70
ExG20180806	0,30	7,47
ExG-gjennomsnitt	0,46	7,53

Fotnote 7 Standardfeil (SF)

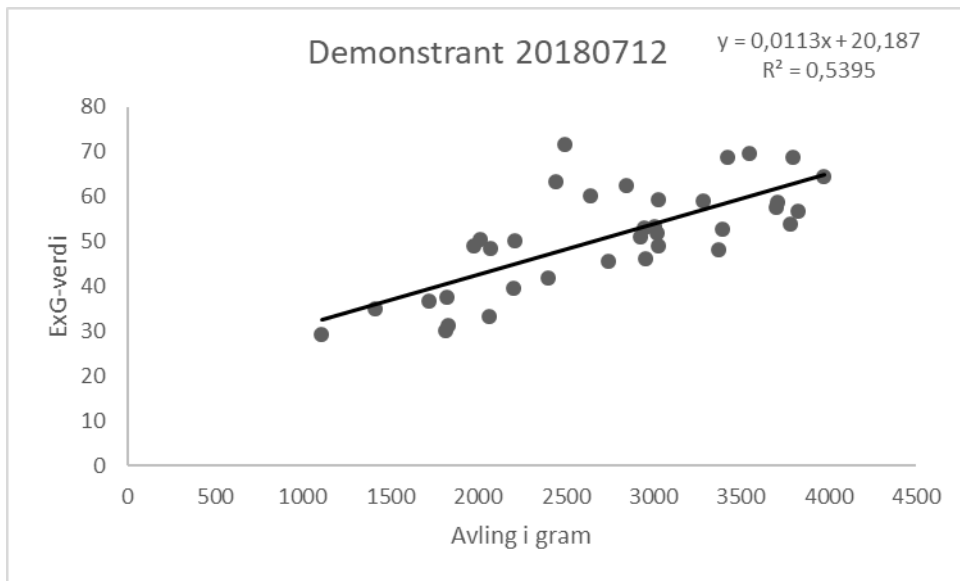
Tabell 11 Resultat av regresjon for ExG-verdi korrelert mot avling på Staur for hver flyging

	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
ExG20180620				
Skjæringspunkt	28,69	1,46	<0,05	25,80 – 31,57
Avling	0,012	0,0004	<0,05	0,011 – 0,013
ExG20180628				
Skjæringspunkt	21,44	1,41	<0,05	18,67 – 24,21
Avling	0,011	0,0004	<0,05	0,010 – 0,012
ExG20180705				
Skjæringspunkt	30,38	0,85	<0,05	28,71 – 32,05
Avling	0,005	0,0002	<0,05	0,004 – 0,005
ExG20180712				
Skjæringspunkt	24,60	1,06	<0,05	22,51 – 26,68
Avling	0,009	0,0003	<0,05	0,008 – 0,009
ExG20180730				
Skjæringspunkt	1,22	0,79	0,12	-0,33 – 2,78
Avling	0,003	0,0002	<0,05	0,003 – 0,004
ExG20180806				
Skjæringspunkt	1,84	0,88	<0,05	0,11 – 3,57
Avling	0,005	0,0002	<0,05	0,005 – 0,006
ExG-gjennomsnitt				
Skjæringspunkt	18,03	0,89	<0,05	16,28 – 19,78
Avling	0,008	0,0002	<0,05	0,007 – 0,008

Fotnote 8 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

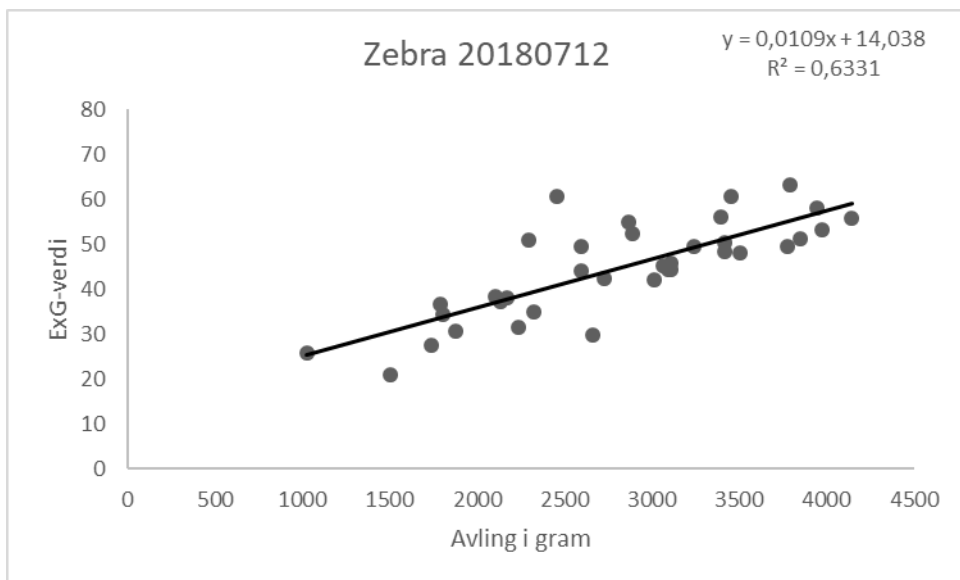
ExG-verdien for den 20.juni og den 12.juli hadde best korrelasjon med avling av flygingene (se tabell 7). Flygingen den 30.juli ga dårligst korrelasjon med avling, og skjæringspunktet for regresjonslinjen på y-aksen er ikke signifikant $P = >0,05$. Gjennomsnittlig ExG-verdi gjennom vekstsesongen for forsøksrutene (se figur 20 og tabell 10 og 11) viser å få en bedre plassert regresjonslinje og større korrelasjon, enn for noen av flyvningene der man har hver enkelt dag. Gjennomsnittet vil utjevne noe av de store forskjellene mellom flyvningene.

8.3.2 ExG-verdi på sort

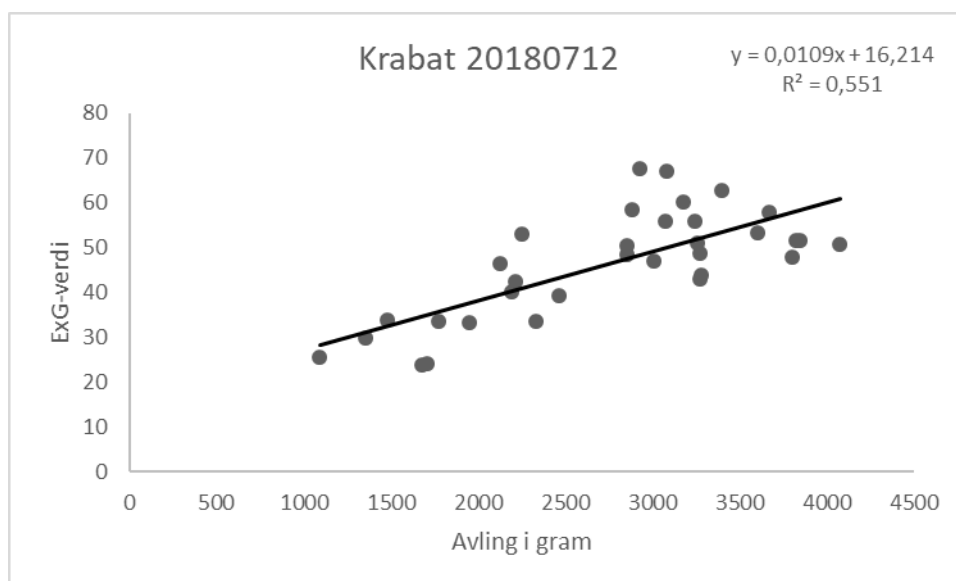


Figur 21 ExG-verdi samlet inn den 12.07.2018 mot avling for Demonstrant på Staur

ExG-verdiene på sort korrelert mot avling (se figur 21, 22, 23, og tabell 12), viser å ha bedre korrelasjon enn for hver enkelt flyvning og gjennomsnittet for hele Staur (se figur 19, 20 og tabell 10). Zebra viser seg å ha størst avling i snitt (se tabell 4).



Figur 22 ExG-verdi samlet inn den 12.07.2018 mot avling for Zebra på Staur



Figur 23 ExG-verdi samlet inn den 12.07.2018 mot avling for Krabat på Staur

Tabell 12 Justert R^2 og SF for ExG-verdi for sortene Demonstrant, Zebra og Krabat korrelert mot avling på Staur for flygingen den 12.07.2018

	Justert R^2	SF
ExG-verdi Demonstrant	0,52	8,05
ExG-verdi Zebra	0,62	6,55
ExG-verdi Krabat	0,53	8,07

Fotnote 9 SF =standardfeil

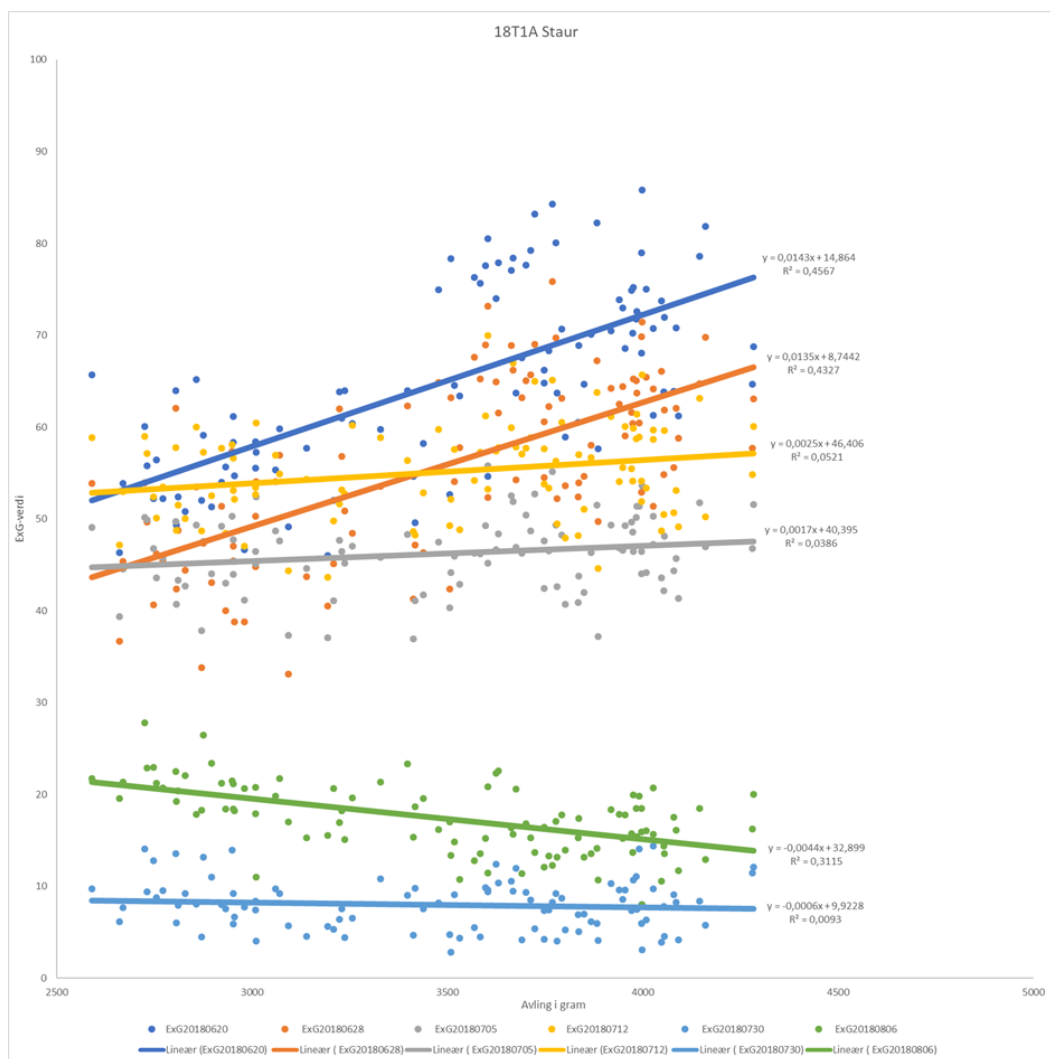
Tabell 13 Resultat av regresjon for ExG-verdi på sortene Demonstrant, Zebra og Krabat, korrelert mot avling på Staur for flygingen den 12.07.2018

	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
ExG-Demonstrant				
Skjæringspunkt	20,18	5,07	<0,05	9,87 – 30,50
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,007 – 0,014
ExG-Zebra				
Skjæringspunkt	14,03	4,13	<0,05	5,64 – 22,43
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,007 – 0,013
ExG-Krabat				
Skjæringspunkt	16,21	5,09	<0,05	5,82 – 26,59
Avling	0,01	0,001	<0,05	0,007 – 0,014

Fotnote 10 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

Korrelasjonen mellom målt ExG-verdi den 12.juli og avling, er større på sortene Demonstrant, Zebra og Krabat, enn for alle forsøksruter samlet. SF er derimot noe høyere (se tabell 11 og 13).

8.3.3 ExG-verdi for 18T1A



Figur 24 Plot med ExG-verdi opp mot avling for hver flyging på forsøksfelt 18T1A på Staur

Tabell 14 Resultat av regresjon for ExG-verdi for 18T1A korrelert mot avling på Staur for flygingen den 12.07.2018

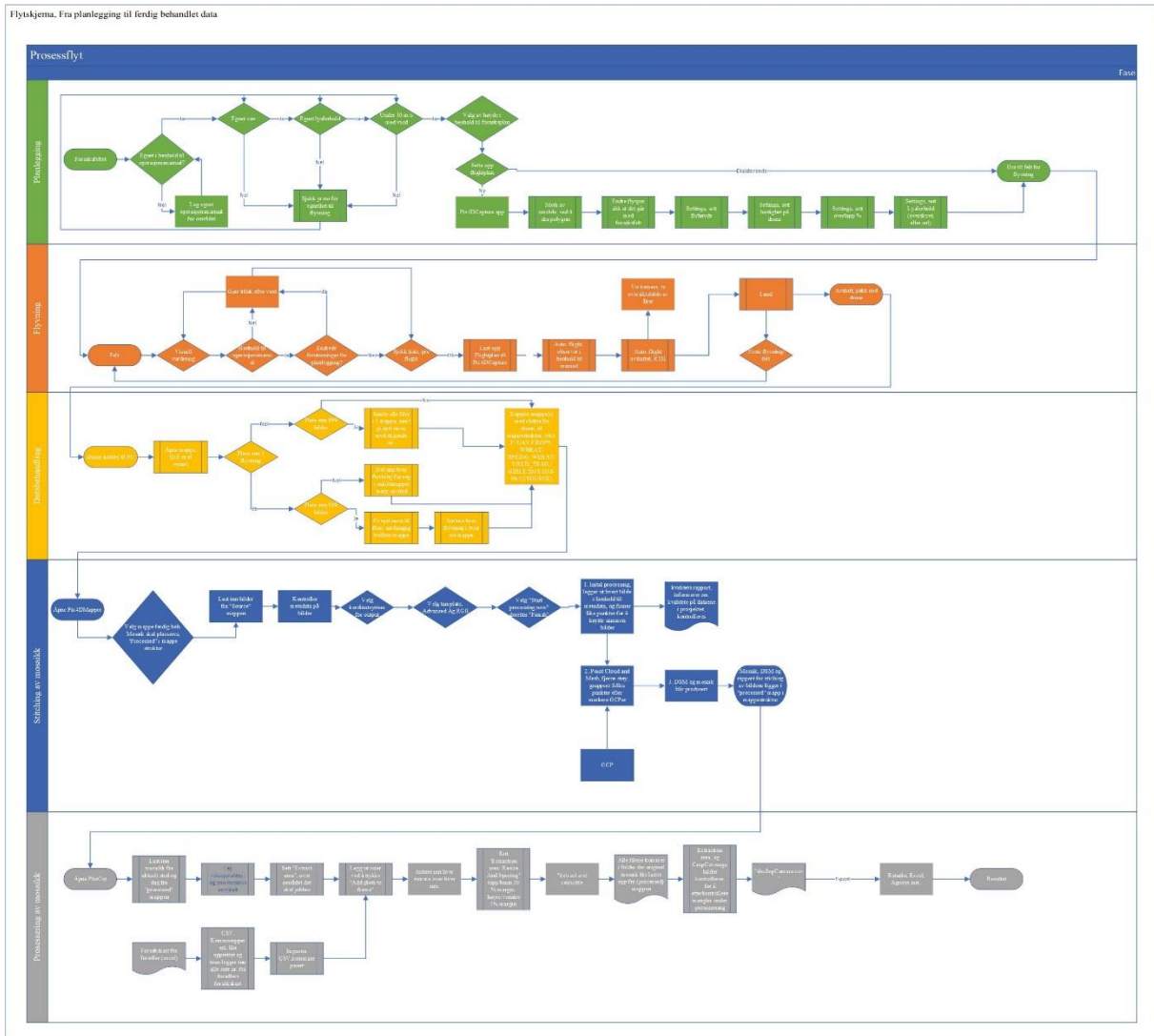
	Justert R ²	SF
ExG20180712	0,04	5,05

	Koeffisienter	SF	P-verdi	KI
<u>ExG-18T1A -20180712</u>				
Skjæringspunkt	46,40	3,80	<0,05	38,86 – 53,94
Avling	0,002	0,001	<0,05	0,0003 – 0,0046

Fotnote 11 Standardfeil (SF), konfidensintervallet på 95 % (KI)

For den 12.juli på 18T1A er det nesten ingen korrelasjon mellom avling og ExG-verdi (se tabell 14). Det ble notert gjennomsnittlig modning for forsøket den 28.juli. Resultatene for 18T1A går mot de andre resultatene for denne dagen på sortene og hele feltet (se figur 19, 20, 21, 22, 23, 24 og tabell 10, 11, 12, 13, 14).

8.4 Tverrfunksjonelt flytdiagram for datainnsamling og prosessering



Figur 25 Tverrfunksjonelt flytskjema for Planlegging, Flyging, Databehandling, Stitching av mosaikk og Prosessering av mosaikk.

Figur 23 illustrerer prosessenes oppsett og sammenheng. For mer utfyllende informasjon om hver enkelt prosess se vedlegg: 5 planlegging, 6 flyging, 7 databehandling, 8 stitching av mosaikk og 9 prosessering av mosaikk. Dette er en god måte å få oversikt på gjøremål igjennom arbeidsprosessen. Prosessflyten er delt 5 deler og starter i grønt felt i venstre hjørne, man arbeider seg gjennom både flervalgs spørsmål (ja/nei) og punkter som må gjennomføres for å fullføre arbeidstrinnet.

9. Diskusjon

9.1 Utviklingen av ExG-verdi gjennom vekstsesongen

På Gihle ble det funnet høyest ExG-verdi fra flygingen den 20.06.2018. Deretter ble det registrert en nedgang (se figur 11). Dette stemmer med litteraturen som beskriver ExG-verdien som godt korrelert med biomasse, da den måler grønn plantemasse (Du & Noguchi, 2017; Golik, Chidichimo, & Sarandón, 2005). Det ble gjennomført sprøyting mot ugress den 26.06.2018, som kan være noe av årsaken til reduksjonen i ExG-verdi for målingene etter den 20.06.2018. I studien til Du & Noguchi (2017) kunne også vekststatus visualiseres igjennom vekstsesongen. De så en økning fram til gulmodning. Dette samsvarer ikke med funnene i min studie. Noe av årsaken til dette kan være at målingene er påvirket av ugress på flygningene før den 26.06.2018, da det ble gjennomført sprøyting. Det kan også være en mulighet at flygningen den 28.06.2018 er påvirket av ugress, da det forventes synlig virkning på de yngste plantedelene etter ca. 10-15 dager etter sprøyting ved bruk av Hussar OD sammen med Attribut SG70 (Mattilsynet, 2014; Mattilsynet, 2016). Det er en tydelig nedgang i ExG-verdi fra den 28.06.2018 til den 12.07.2018, som kan forklare noe av effekten ugressmiddelet har på Gihle. Forsøksfeltet på Staur er sådd 9 dager tidligere enn forsøksfeltet på Gihle. Det er også gjennomført vanning av dette forsøksfeltet, noe som gjør det vanskelig å sammenligne resultatene fra de to lokalitetene. På Staur ble det brukt en lav dose med Express SX mot ugress. Dette ble påført 21.06.2018, og det forventes synlig virking i løpet av 1-2 uker (Mattilsynet, 2018). Det er også her, i likhet med Gihle, en minkende ExG-verdi etter sprøytetidspunktet (se figur 12), frem til det er en oppgang fra den 05.07.2018 til den 12.07.2018. Deretter minker ExG-verdien på Staur frem til de siste flygningene den 30.07.2018 og 06.08.2018.

På Staur er det notert gulmodning på 18T1A den 28.juli. Det vil da være misvisende å se på flygninger etter den 12.07.2018, da deler av åkeren er i gulmodningsfasen eller modent. Den 30.07.2018 og 06.08.2018 kan noe av ExG-verdien forklares med umodent korn, men ugress kan også være en faktor som påvirker disse målingene. På Gihle er det notert gulmodning litt senere på 18T1A, den 04.08.2018. Man kan da utelukke resultatene fra flygningen den 06.08.2018, da de i likhet med målingene på Staur etter gulmodning, er misvisende.

Det er i tillegg til ugress og sprøyting flere faktorer som påvirker ExG-verdien, blant annet tidspunkt i døgnet og lysforhold. Det blir derfor vanskelig å sammenligne resultater fra dager flydd med overskyet vær opp mot dager da det var sol. Slik som på Gihle den 20.06.2018, da det var overskyet, opp mot 28.06.2018, da det var sol. Tidspunktet for flygingen varierer i stor grad gjennom døgnet. Dette er noe lignende studier har prøvd å unngå ved å ha et gitt tidsintervall for flyvningen (Du & Noguchi, 2017; Haghghattalab, et al., 2016; Rasmussen, et al., 2016). Varierende tidspunkt for flyging er noe man bør unngå, da det gir et usikkerhetsmoment rundt målemetoden. Dette fordi man enda ikke har kartlagt om det er forskjell ved flyging tidlig på morgenen, midt på dagen eller sent på kvelden. Mellom flygingene på Gihle den 28.06.2018 og 12.07.2018 varierer klokkeslettet for innsamling mellom 13:30 og 19:45. Dette er noe som kan påvirke, men ikke er testet i denne studien.

Rasmussen, et al., (2016) konkluderte i sitt forsøk, at man bør korrigere for refleksjon og ta høyde for solvinkel om man skulle fly på dager da det ikke var overskyet. For 30.07.2018 og 06.08.2018 er ExG-verdien betydelig lavere enn den 20.06.2018 på Gihle. Flygingene for disse datoene kan sammenlignes, da det var registrert like lysforhold, og innsamlingen har foregått mellom klokken 10:00-12:15. Dette samsvarer mye med anbefalt lysforhold og liten variasjon i klokkeslett, som er omtalt i lignende studier (Rasmussen, et al., 2016). Disse flygingene representerer datoer før og etter sprøyting, som kan sammenlignes.

Skal man si noe presist om utviklingen i ExG-verdi sitter man igjen med 20.06.2018 og 30.07.2018, der man kan si at det er en negativ utvikling fra før sprøyting til etter sprøyting rett før gulmodning inntreffer på Gihle. På Staur er det ingen av flygingene før modning som kan sammenlignes, da lysforhold og tidspunktene for flygingene varierer i for stor grad til å dra noen konklusjoner.

Det skal også tas med i vurderingen av ExG-verdi, at vekstsesongen 2018 har vært svært uvanlig med tanke på temperatur og tørke. Dette er noe som kan ha vært en påvirkende faktor da plantene til tider har vært under tørkestress. Vanlig veksttid fra såing til gulmodning starter, er beregnet i perioden 2015-2017 til å være 119 dager for Zebra og 117 dager for Krabat (Graminor AS, 2018). Det er på Staur registrert modning for hele feltet den 06.08.2018, som er 96 dager etter såing. På Gihle er det notert gulmodning for hele lokaliteten den 06.08.2018, som er 89 dager etter såing. På Gihle er det for sortene Zebra og Krabat henholdsvis 30 og 28 dager tidligere enn perioden 2015-2017, noe som tyder på at vekst- utviklingen er påvirket og modningen har startet tidligere enn normalt.

9.2 Sammenheng mellom ExG-verdi og avling

9.2.1 Gihle

Flygingen på Gihle den 30.07.2018 viste best korrelasjon mellom ExG-verdi og avling. Denne flygingen var rett før gulmodning. Dataene var samlet inn under gode forhold, med overskyet vær midt på dagen. Det var også god korrelasjon mellom ExG-verdi og avling på sortene Demonstrant, Zebra og Krabat den 30.07.2018. Det ble funnet litt lavere korrelasjon for 18T1A. Dette stemmer bra med hva Du & Noguchi (2017) hadde i sin studie, med lignende resultater mellom avling og ExG-verdien i hvete. Resultatene fra den 06.08.2018 viser mindre sammenheng mellom avling og ExG-verdi. Noe av årsaken til dette er at kornplantene har begynt å modne, og man vil ikke se god korrelasjon med avling, da noe av bladmassen er gul.

På 18T1A er det notert gulmodning den 04.08.2018, 5 dager etter flygingen. Gulmodning starter ca. 2 uker etter grønnmodning på vårkorn. Utviklingen fra gulmodning til fullmodning kan ta ca. 4-5 dager ved godt vær (Dieseth & Uhlen, 1998). Det kan da være en mulighet for at 18T1A var i gulmodningsfasen under flygingen den 30.07.2018. Dette kan være noe som har påvirket korrelasjonen mellom avling og ExG-verdi negativt, ikke bare på 18T1A, men også vært med på å påvirke sammenhengen når man ser på alle forsøksrutene.

Tidspunktet i vekst/modningsstadiet til planten kan være en årsak til at man ser en bedre sammenheng for Demonstrant og Zebra mot for Krabat (se tabell 7) den 30.07.2018. Da lysforhold og måletidspunkt stemmer bra med det som omtales som optimale forhold i litteraturen. Rasmussen, et al., (2016) påpekte i sin studie at man burde fly når det var lett overskyet. Det ble det ikke tatt hensyn til i alle flygingene. Det ble i denne studien ikke korrigert for solvinkel eller lysforhold, noe som ble anbefalt av (Rasmussen, et al., 2016). Korrigering av varierende lysforhold er gjennomført i flere lignende studier på bruk av drone til innsamling av fenotypisk data i forsøksfelt (Du & Noguchi, 2017; Haghhighattalab, et al., 2016). Trolig ville korrigering av lysforholdene gjort at man i større grad kunne sammenligne flygingene.

9.2.2 Staur

På Staur var resultatene fra flygningene den 20.06.2018 og 12.07.2018 best korrelert med avling. Sortene viste bedre korrelasjon enn alle forsøksrutene samlet den 12.07.2018, mens 18T1A for samme dag hadde svært liten korrelasjon med avling.

Regresjonen for hver enkelt sort ga best plassering av regresjonslinjen og større korrelasjon mellom avling og ExG-verdi. Når sortene er genetisk like og stabile virker dette positivt inn på denne målingen. Gjennomsnittlig ExG-verdi på Staur ga bedre korrelasjon mellom avling og ExG-verdi enn resultatene for hver enkelt flyging. Noe av årsaken til dette kan være at man utjevner feil i målingene på hver enkelt dag. Dette viser at måletidspunktet og lysforholdene på Staur for alle forsøksruter ikke var optimalt i noen av flygningene når man skal måle ExG-verdi korrelert mot avling. Dette stemmer bra med litteraturen, der det anbefales å fly i overskyet vær, da det er jevnt lys (Rasmussen, et al., 2016).

På Staur var det stor variasjon i klokkeslettet under de forskjellige flygningene. Flygningen den 12.07.2018 er gjennomført på kvelden, mens flygningen den 20.06.2018 er gjennomført på formiddagen. Lignende studier gjennomført med drone i forsøksfelt har til felles, at tidspunktet for flygingen er gjennomført i samme tidsrom, 1-3 timer eller på formiddagen (Du & Noguchi, 2017; Khan, Rahimi-Eichi, Haefele, Garnett, & Miklavcic, 2018; Rasmussen, et al., 2016).

På 18T1A- forsøket var det notert gulmodning den 28.07.2018. Dette er 16 dager etter flygingen den 12.07.2018. Det er vanskelig å forklare dette resultatet for denne flygingen, på grunn av for få registreringer av vekst/modnings notater i feltet igjennom vekstsesongen (se tabell 10, 11 og 14). Resultatene fra flygingen den 12.07.2018 på 18T1A viser svært liten sammenheng mellom avling og ExG-verdi, noe som kan forklare grunnen til det vi ser på Staur, alle forsøksruter, der det er lavere sammenheng ut i fra forventningene. At variasjonen på lokaliteten er så stor, betyr at man ikke bare må ha godt vær og fly på riktig tidspunkt, men også i større grad notere vekststadiet i åkeren og om det er stor variasjon mellom vekststadiet på lokaliteten.

9.3 Prosesskart

Ut fra resultatene funnet på Staur og Gihle er det tydelig at det må arbeides mer med å utarbeide tilpassede prosessflyt for innsamling av data. Det er i denne studien utarbeidet et tverrfunksjonelt flytskjema (se figur 25) for bruk av drone i foredlingsfeltene til Graminor AS. Dette er utarbeidet på bakgrunn av prosessflyten for gjennomføring i vekstsesongen 2018. Med et flytskjema får man en overordnet oversikt, der man enkelt kan se gangen i arbeidsprosessen. En av hovedfordelene med å ha flytskjema er opplæring av nye piloter. Det kan også brukes som et verktøy i forbedring av hvert enkelte ledd i prosessene. Overordnet er prosessen delt i 5 faser, planlegging, flyging, databehandling, stitching av mosaikk og prosessering av mosaikk.

Planlegging og flyging er de to prosessene man kan tenke seg å utvikle flere forskjellige typer av. Dette for å ha mer tilpasning til hver enkelt fenotype man ønsker å kartlegge. I denne studien er det flydd på 50 meter AGL, og sett på sammenhengen mellom avling og ExG-verdi. Skal man måle høyde på kornplanten kreves det større nøyaktighet med bruk av GCP for å gi en korrekt gjengivelse av bakkeplanet og større nøyaktighet på stitching av mosaikken (Propeller Aero, 2019). Når man skal se på plantedekket slik som (Rasmussen, Nørremark, & Bibby (2007) er det viktig med høyoppløselige bilder, dvs. lav GSD. Dette kan brukes til å se overvintringsevne på høsthvete, ved å måle plantedekke om høsten sammenlignet med våren. Det kan tenkes å legge inn en prosessflyt for bruk, plassering og antall GCP per daa, og flyhøyde for forskjellige målinger. Det samme gjelder for korrigerings av lysforhold, der det klart er et forbedringspotensial sett i lys av resultatene fra Gihle og Staur.

Databehandlingsprosessen styres i hovedsak av hvilken programvare man ønsker å bruke. I programvarene som er brukt i denne studien Pix4DMapper (Pix4D SA, 2019) og PlotCut Pro2 (Westergaard, 2018a) er det ikke funnet store problemer med flytskjemaet. For PlotCut Pro2 bør det utarbeides et bedre flytskjema etter hvert som det kommer nye versjoner.

9.4 Datafangst

Datainnsamlingen med drone og RGB-kamera har mer eller mindre vært problemfri teknisk. I denne studien har innsamlingen foregått på svært varierende tidspunkt på dagen. Dette har i etterkant vist seg å være svært uheldig med tanke på sammenligning av data mellom flygingene og lokalitetene. Publiserte vitenskapelige studier gjennomført med drone, har til

felles at tidspunktet for flyvningene er gjennomført i samme tidsrom (+/- 1-2 timer på formiddag) (Du & Noguchi, 2017; Khan, Rahimi-Eichi, Haeefe, Garnett, & Miklavcic, 2018; Rasmussen, et al., 2016). Kvaliteten på de resultatene vi har samlet inn blir en indikasjon på hva vi kan forvente oss av kvalitet, ved å fly på varierende tidspunkt på dagen.

I denne studien ser man en utvikling i ExG-verdi gjennom vekstsesongen. For å sammenligne data mellom flygingene, er det viktig å ha så like forhold som mulig mellom disse, slik (Du & Noguchi, (2017) hadde i sin studie. Skal man måle avling korrelert mot ExG-verdi (biomasse) trenger man kanskje kun en flygning på det riktige tidspunktet i vekstsesongen. I min studie viser det seg å være rundt den 30.07.2018 på Gihle. Skal man måle gulrust, slik som Zhou, et al., (2015) gjorde i sin studie, bør man fly når det er sykdomsangrep. Dette tyder på at tidspunktet i vekstsesongen ikke er likegyldig for hva man skal måle.

Resultatene på Gihle og Staur kan tyde på at flygingene på dager med sol hadde negativ effekt på innhentet data. Det er utfordrende og komme med en konklusjon på dette, med de resultater vi har fått i denne studien. Mye av grunnen til at dette er utfordrende, er at det mellom flygingene er opptil flere dager/ukers mellomrom. Rasmussen, et al., (2016) anbefaler å fly på dager med overskyet vær, og om man skal fly når det er sol, bør man korrigere for solvinkel og lysforhold. Dette for å unngå uønskede effekter med feil gjengivelse av refleksjon fra plantene (endret grønnhet), noe som påvirker ExG-verdien. Det man kan si ut i fra resultatene på min studie, er at flygingene på dager med overskyet vær, korrelerte bedre med avling. Antagelig er det en sammenheng mellom kvalitet på data og korrelasjon mot avling. Er åkeren kommet i gulmodningsstadiet er ikke biomassen grønn, og det kan ikke forventes samme sammenheng med avling.

Tredjeparts applikasjoner for styring av drone (flightplan programmer), bør testes grundig før bruk. Dette ble erfart ved at programvaren overstyrte dronen og kontrolleren, slik at dronen fløy i uønsket retning under utprøving av flightplan-programmet Field Agent (Sentera Inc., 2019). Luftfartstilsynet har kommet med et sikkerhetsbrev 01/2019, om at man bør være varsom med bruk av tredjeparts applikasjoner, samt ha tilstrekkelig buffer/sikkerhetsavstand til objekter eller personer i nærheten, ved gjennomføring av uttesting (Luftfartstilsynet, 2019d). Før ny programvare tas i bruk, bør det gjennomføres grundig uttesting for å øke sikkerheten til operatør av dronen og andre personer i nærheten.

9.5 Databehandling

Det er i denne studien, som bare har brukt en begrenset del av Graminor AS sine forsøksfelter, erfart at man i løpet av få minutter kan samle inn store mengder data. Disse dataene skal sorteres og prosesseres på en slik måte at man sikrer god kvalitet, samtidig som man ikke forveksler eller mister data. For å holde styr på dataene ble det valgt en mappestruktur, slik at man kan sortere og holde oversikt.

En av de praktiske utfordringene man støtte på viste seg å være størrelsen på minnet til laptop/PC. Det er så mye data som skal hentes i mappestrukturen (se figur 9), at når mappestrukturen er for lang, dvs. flere mapper etter hverandre, har ikke PC nok minne til å gjøre dette. For at PC skulle klare å hente filene inn i programvaren ble det nødvendig med manuell flytting av filene som skulle prosesseres fra mappestrukturen til skrivebordet. Dette er tungvint, og faren for å bytte om/miste data er stor. Med flere brukere vil faren for at det skjer feil øke.

Generelt var kapasiteten på datakraft, sikker lagring og overføringskapasitet for liten på utstyret som ble stilt til rådighet i studien. Når Graminor planlegger å utvide datainnsamlingen ved hjelp av drone og RGB-kamera til å gjelde flere forsøk, flere arter, flere lokaliteter og det blir flere brukere, må man også øke kapasiteten på flere områder for å forhindre flaskehals i databehandlingen. Flaskehalsen ved datahåndteringen er et fellestrekk for de fleste studier der man har brukt drone til datainnsamling (Araus, Kefauver, Zaman-Allah, Olsen, & Cairns, 2018).

9.6 Kvalitetskontroll og kvalitetssikring

I denne studien har det blitt sett på ExG-verdi korrelert mot avling på forsøksrutenivå. Fordi det i litteraturen er flere eksempler på at ExG (biomasse) og kornavling er nært korrelerte, er korrelasjonen brukt som kvalitetsindikator (Du & Noguchi, 2017; Golik, Chidichimo, & Sarandón, 2005). Det har vist seg å være utallige feilkilder/variabler som kan påvirke sensoren som skal samle inn data. For å minimere antallet feilkilder og sikre høy kvalitet på bildene er det viktig å gjennomføre flygingene på samme måte, hvis man skal sammenligne data mellom flygingene. Når man har dette på plass, er det flere måter å sikre at dataene har høy kvalitet. Det ene er å ha kontrollmålinger som ved f.eks. avlingsprediksjon, det vil si at man har avlingen å måle opp mot. Det kommer tydelig fram at det må gjennomføres flere studier for å

kunne kartlegge hvilket tidspunkt i vekstsesongen, tidspunkt på dagen, vær, lysforhold, høyde, vinkel på kamera, og flyrute som sikrer at dataene en samler inn holder høy kvalitet. Man må her rett og slett finne en måte å kalibrere sensor/indeks slik at man er sikker på de resultater man får.

10. Konklusjon

Teknisk sett har gjennomføringen av forsøkene gått svært bra. Det er ingen tvil om at man kan samle inn data på en svært effektiv måte med bruk av drone. Det er også funnet relativt sterk korrelasjon mellom avling og ExG-verdi for enkelte av flygningene. Dette er lovende med tanke på framtidig bruk av drone som et foredlingsverktøy. Modellen som blir brukt i denne studien ser i hovedsak på kvaliteten av måleverktøyet, og hva som påvirker det. Det kommer tydelig frem at dag i vekstsesongen, været, og tidspunkt i døgnet påvirker resultatet i stor grad. Med bakgrunn i litteraturen og egne forsøk har jeg kommet frem til følgende konklusjoner:

- Oppstart med droner påmontert RGB-kamera for innsamling av fenotypisk data i forsøksfelt, bør teknisk sett være mulig for Graminor AS.
- Værforhold og klokkeslett vil påvirke kvaliteten av de innsamlede data, og det er utfordrende å få gjort flygningene under optimale forhold.
- Ekstrahering av data fra RGB-bildene fra flygningene krever stor datakapasitet og er foreløpig relativt arbeidskrevende.
- Nær korrelasjon mellom ExG-verdi og kornavling i resultatene fra noen av flygningene viser at metoden kan vise interessant informasjon fra forsøksfelt.
- Stor variasjon i hvor godt ExG-verdien var korrelert med kornavling viser at, utviklingsstadiet til veksten er viktig for å få de mest verdifulle data i forhold til egenskapen man vil studere, i dette tilfelle avling.

Det bør også arbeides videre med å lage gode rutiner for gjennomføring av flygninger som er tilpasset de observasjonene man er ute etter, om dette er karakterer korrelert med avling, sykdom eller høydemåling.

11. Litteraturliste

- Araus, J. L., Kefauver, S. C., Zaman-Allah, M., Olsen, M. S., & Cairns, J. E. (2018). Translating High-Throughput Phenotyping into Genetic Gain. *Trends in Plant Science*, 23(5), ss. 451-461.
- atfarm. (2019, Februar 18). *Precise fertilisation made simple*. Hentet fra <https://www.at.farm/>
- Burud, I., Lange, G., Lillemo, M., Bleken, E., Grimsad, L., & From, P. J. (2017). Exploring Robots and UAVs as Phenotyping Tools in Plant Breeding. *IFAC PapersOnLine 50-1*, ss. 11479-11484.
- CSIRO. (2015, Desember 10). *Bird, plane or scientific blimp?* Hentet fra <https://ginninderraproject.com.au/bird-plane-or-scientific-blimp/>
- Dieseth, J. A., & Uhlen, A. K. (1998). Korn Del 1, Forelesningsnotat i PK210, Jordbruksvekster til frømodning. Ås: NLH.
- DJI. (2019). *DJI Phantom 4 Pro*. Hentet fra <https://www.dji.com/phantom-4-pro/info#specs>
- DJIFlightPlanner. (2019, Mars 08). *DJIFlightPlanner*. Hentet fra <https://www.djiflightplanner.com/>
- DroneDeploy. (2019, Mars 08). *Drone Map from Your Mobile Device*. Hentet fra <https://www.dronedeploy.com/product/mobile/>
- Du, M., & Noguchi, N. (2017). Monitoring of Wheat Growth Status and Mapping of Wheat Yield's within-Field Spatial Variations Using Color Images Acquired form UAV-camera System. *Remote Sens*, 9(289), ss. 1-14.
- FLIR AB. (2019). The ultimate infrared handbook for R&D professionals. 1-9. Hentet fra <https://www.flir.com/globalassets/guidebooks/ultimate-infrared-handbook-for-rnd-professionals-en.pdf>
- Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv., FOR-2015-11-30 (2015). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>
- Globe Flight. (2019, Mars 06). *Micasense-Rededge-M Multispektralkamera*. Hentet fra <https://www.globe-flight.de/media/image/product/6210/lg/micasense-rededge-m-multispektralkamera~19.jpg>
- Golik, S. I., Chidichimo, O. H., & Sarandón, S. J. (2005). Biomass Production, Nitrogen Accumulation and Yield in Wheat under Two Tillage Systems and Nitrogen Supply in the Argentine Rolling Pampa. *World Journal of Agricultural Sciences*, 1(1), ss. 36-41.
- Graminor AS. (2016a). *Forskningsprosjekt for over 16 millioner til Graminor*. Hentet fra <http://www.graminor.no/nyheter/show/7>
- Graminor AS. (2016b). *Virtual Reality (VR) i planteforedling*. Hentet fra <http://www.graminor.no/nyheter/show/20>

-
- Graminor AS. (2018, Januar 5). *Sortsmøte korn 2017*. Hentet fra <http://www.graminor.no/nyheter/show/36>
- Grøtli, E. I., Transeth, A. A., Gylland, A., Risholm, P., & Bergh, I. S. (2014). *Kartlegging av status og potensiale for dronebasert teknologi*. Trondheim: SINTEF.
- Hafsøl, L. P. (2016). *Precision Agriculture with Unmanned Aerial Vehicles for SMC estimations - Towards a more Sustainable Agriculture*. Hamar: Hedmark University og Applied Sciences, Department of Applied Ecology and Agriculture.
- Haghighattalab, A., Pérez, L. G., Mondal, S., Singh, D., Schinstock, D., Rutkoski, J., . . . Poland, J. (2016). Application of unmanned aerial system for high throughput phenotyping of large wheat breeding nurseries. *Plant Methods*, 12(35), ss. 1-15.
- HP Development Company. (2019, Februar 27). *HP Elitebook 840 G5 bærbar PC (3JY00EA)*. Hentet fra http://www8.hp.com/no/no/products/laptops/product-detail.html?oid=20903355&jumpid=reg_r1002_nono_c-001_image_r0006#!tab=specs
- Khan, Z., Rahimi-Eichi, V., Haefele, S., Garnett, T., & Miklavcic, S. J. (2018). Estimation of vegetation indices for high-throughput phenotyping of wheat using aerial imaging. *Plant Methods*, 14(20), ss. 1-11.
- Landbruks- og matdepartementet. (2018, Desember 10). *Matsikkerhet*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/mat/innsikt/matsikkerhet/id2357158/>
- Landbruksdirektoratet. (2018). *Omverdenen til norsk landbruk og matindustri - rapport for 2017 (5/2018)*. Oslo: Landbruksdirektoratet.
- LDP LLC-MAXMAX. (2019, Mars 06). *MAXMAX*. Hentet fra https://maxmax.com/Old_Web/images/Cameras/Technical/CanonDLSR_StockResponse.jpg
- Lov om luftfart (luftfartsloven), LOV-1993-06-11-101 (1993). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1993-06-11-101>
- Lu, N., Zhou, J., Li, D., Cao, Q., Yao, X., Tian, Y., . . . Cheng, T. (2019). Improved estimation of aboveground biomass in wheat from RGB imagery and point cloud data acquired with a low-cost unmanned aerial vehicle system. *Plant Methods*, 15(17), ss. 1-16.
- Luftfartstilsynet. (2019a, Februar 21). *Nettkurs for droneoperatører*. Hentet fra <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/nettkurs-drone/>
- Luftfartstilsynet. (2019b, Februar 21). *Om Luftfartstilsynet*. Hentet fra <https://luftfartstilsynet.no/om-oss/om-luftfartstilsynet/>
- Luftfartstilsynet. (2019c, Februar 21). *Sikkerhetsbrev fra Luftfartstilsynet*. Hentet fra <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/sikkerhetsbrev/>
- Luftfartstilsynet. (2019d, Februar 7). *Sikkerhetsbrev fra Luftfartstilsynet til alle droneoperatører 1-2019*. Hentet fra

- <https://luftfartstilsynet.no/globalassets/dokumenter/dronedokumenter/sikkerhetsbrev/sikkerhetsbrev-1-2019.pdf>
- Løvås, G. G. (2018). *Statistikk for universiteter og høyskoler* (4.. utg.). Oslo: Universitetsforlaget.
- Marques, O. (2011). *Practical Image and Video Processing Using MATLAB*. Florida: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Mattilsynet. (2014, Januar 12). *Etikett for Hussar OD*. Hentet fra https://www.mattilsynet.no/plantevernmidler/etiketter/2006_51_14.pdf
- Mattilsynet. (2016, Januar 5). *Etikett for Attribut SG 70*. Hentet fra https://www.mattilsynet.no/plantevernmidler/etiketter/2016_1.pdf
- Mattilsynet. (2018, Desember 11). *Etikett for Express SX*. Hentet fra https://www.mattilsynet.no/plantevernmidler/etiketter/2010_30_18.pdf
- Meyer, G. E., & Neto, J. C. (2008). Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and electronics in agriculture*, 63, ss. 282-293.
- MicaSense. (2019, Mars 06). *What is the center wavelength and bandwidth of each filter on the RedEdge camera*. Hentet fra <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/214878778-What-is-the-center-wavelength-and-bandwidth-of-each-filter-on-the-RedEdge-camera->
- Microsoft Corporation. (2019a). *Excell 32-biters*. Hentet fra Versjon 1901.
- Microsoft Corporation. (2019b). *Visio, 32-biter*. Hentet fra Versjon 1808.
- Microsoft Corporation. (2019c). *Word, 32-biter*. Hentet fra Versjon 1808.
- NIBIO. (2019a, Februar 18). *NIBIO Senter for presisjonsjordbruk*. Hentet fra Avansert landbruksteknologi: <https://precisionag.no/nb/forskning/avansert-landbruksteknologi/>
- NIBIO. (2019b). *Sensorer*. Hentet fra <https://precisionag.no/nb/utstyr/sensorer/>
- Nilsen, J. H. (2014, Juni 8). *Hva er et digitalt bilde?* Hentet fra <https://www.ntnu.no/iie/fag/dbb/lek01/dbb-ls01-hva-er-et-bilde.pdf>
- NPPN. (2019a). *Nordic Plant Phenotyping - 6P - Research*. Hentet fra <https://nordicphenotyping.org/research/>
- NPPN. (2019b). *Nordic Plant Phenotyping Network*. Hentet fra <https://nordicphenotyping.org/>
- Pircher, M., Geipel, J., Kusnierek, K., & Korseath, A. (2017). Development of a hybrid UAV sensor platform suitable for farm-scale applications in precision agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-2/W6*, ss. 297-302.
- Pix4D SA. (2019, Februar 29). *Pix4DCapture*. Hentet fra <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>

-
- Pix4D SA. (2019, Februar 27). *Pix4DMapper*. Hentet fra <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>
- Propeller Aero. (2019). *Propeller PPK with*. Propeller Aero. Hentet fra <https://get.propelleraero.com/hubfs/Propeller%20PPK%20Solution-How%20Accurate%20is%20it-Whitepaper.pdf>
- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R. N., & Christensen, S. (2016). Are vegetation indices derived from consumer grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *European Journal of Agronomy* 74, ss. 75-92.
- Rasmussen, J., Nørremark, M., & Bibby, B. M. (2007). Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research*, 47, ss. 299-310.
- Saga Robotics. (2019). *Thorvald, AUTONOMOUS MODULAR ROBOT DELIVERING AGRICULTURAL SERVICES*. Hentet fra <https://sagarobotics.com/>
- Sentera Inc. (2019, Mars 08). *FieldAgent*. Hentet fra <https://sentera.com/fieldagent-platform/>
- SPECIM, Spectral Imaging Ltd. (2017). *AISAFENIX*. Hentet fra http://www.specim.fi/downloads/AisaFenix%20ver1-2017_web.pdf
- SSB. (2018, Juli 2). *Arealbruk og arealressurser*. Hentet fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/arealstat>
- SSB. (2019, Februar 12). *Strukturer i jordbruket, Jordbruksareal etter bruken. Dekar*. Hentet fra <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/stjord/aar>
- Stabbetorp, H. (2018). Dyrkningsomfang og avling i kornproduksjonen. *NIBIO BOK*, 4(1), 14-25.
- Toshiba Electronics Europe GmbH. (2019, Februar 27). *Canvio Ready*. Hentet fra <https://www.toshiba-storage.com/products/toshiba-portable-hard-drives-canvio-ready/>
- Uhlen, A. K., Lillemo, M., & Sundgren, T. (2017). *Økt norsk kornproduksjon gjennom forbedret agronomisk praksis, En vurdering av agronomiske tiltak som kan bidra til avlingsøkninger i kornproduksjonen*. Ås: NIBIO.
- Vergara-Diaz, O., Kefauver, S. C., Elazab, A., Nieto-Taladriz, M. T., & Araus, J. L. (2015). Grain yield losses in yellow-rusted durum wheat estimated using digital and conventional parameters under field conditions. *The Crop Journal*(3), ss. 200-210.
- Westergaard, J. C. (2018a). *PlotCut Pro manual - for pro version 29018-07-02 (Upublisert)*. København: Universitetet i København.
- Westergaard, J. C. (2018b). *UAV Team Flight log - 6P2 (Upublisert)*. København: University of Copenhagen, Upublisert.
- Woebbecke, D. M., Mayer, G. E., Von Bargen, K., & Mortensen, D. A. (1995). Color Indices for Weed Identification Under Various Soil, Residue, and Lighting Conditions. *American Society of Agricultural Engineers*, 38(1), ss. 259-269.

Yara Norge, & DataVäxt AB. (2019, Februar 18). *CropSAT*. Hentet fra <https://cropsat.com/no>

Zhou, B., Elazab, A., Bort, J., Vergara, O., Serret, M. D., & Araus, J. L. (2015). Low-cost assessment of wheat resistance to yellow rust through conventional RGB images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, ss. 20-29.

Ødegaard, N. (2018). *Sensorteknikk tilgjengelig for droner (Upublisert)*. Hamar: Høyskolen i Innlandet.

12. Vedlegg

Vedlegg 1	Innkjøpsplan
Vedlegg 2	Deklarasjonsskjema
Vedlegg 3	RPAS-Sertifikat
Vedlegg 4	Operasjonsmanual Graminor AS
Vedlegg 5	Flytskjema 1 Planlegging
Vedlegg 6	Flytskjema 2 Flyvning
Vedlegg 7	Flytskjema 3 Databehandling
Vedlegg 8	Flytskjema 4 Stitching av mosaikk
Vedlegg 9	Flytskjema 5 Prosessering av mosaikk

12.1 Vedlegg 1 – Innkjøpsplan

Innkjøp til sesong 2018

Til gjennomføring av feltforsøk i 6P prosjekt 2018 sesongen hos Graminor er det nødvendig med innkjøp av drone, Ipad mini (skjerm til kontroller med SIM kort), ekstra batterier til drone, ladehub, landingsmatte, Pc til behandling av innsamlet data.

På NPPN field day – 2018 fikk vi en rekke anbefalinger fra blant annet Jesper Cairo Westergaard v/København universitet ang. innkjøp av drone, nødvendig ekstrautstyr osv. de har testet i praksis forskjellige typer droner i forskjellige prisklasser i flere år.

Drone

Det ble anbefalt å velge en enkel drone med et godt RGB kamera, med gimbal kamerafeste. Dji leverer dette i en relativt billig pakke, der man får drone + kontroller og kamera samt 1 batteri og lader. Kameraet gir veldig god bildekvalitet 1" sensor og 20 MP, dette er viktig, samt at gimbal opphenget fungerer godt selv under krevende forhold. I tillegg er det lavt brukersnitt på Dji sine produkter, lett og lære samt bruke.

VIKTIG!

Det er viktig å velge Phantom 4 Pro og ikke Phantom 4 Pro+, pga. integrert skjerm uten mulighet for SIM/GPS posisjonering på 4 Pro +, når man velger 4 Pro bruker man Ipad mini med SIM kort/ og har derfor GPS posisjon.

15.190,00 kr

Phantom 4 Pro v2.0

<https://rcbutikken.no/nb-NO/produkter/dji-phantom-4/dji-phantom-4-pro-rtf.aspx>

Skjerm til drone kontroller

Valg av skjerm til kontrollenheten er det visse krav som bør stilles. Størrelse er viktig da en forliten skjerm vil gi mindre oversikt og kontroll på dronen. Skjermen skal ha mulighet for SIM kort, dette pga. GPS posisjon. Det bør tas i vurdering ved innkjøp at Apple sine produkter gir større valgmuligheter på app siden. Androide pad ville fungert, men antallet apper som er kompatible med dette operativsystemet er et minimum. Så anbefalingen her var Ipad mini med SIM kort

5.990,00 kr

Ipad Wi-Fi+ Cellular

<https://www.apple.com/no/shop/buy-ipad/ipad-mini-4/128gb-s%C3%B8lv-wifi-cellular>

Abonnement med data må i tillegg bestilles.

Pc til bildebehandling

Fordel med bærbar pc da opplasting av bilder kan skje i felt. Pc bør ha minimum Intel core i5 helst core i7 pris varierer med en core i7 pc ligger på rundt 10.000kr og opp.

https://www.komplett.no/category/11156/pc-nettbrett/pc-baerbar/laptop/alle-baerbare-pc-er?nlevel=10723%C2%A710011%C2%A711156&cnet=Type_A00035%20%20%C2%A7Core%20i7&hits=96

Ekstra utstyr


- Landingsmatte
- Ekstra batteri 3 stk.
 - o https://www.komplett.no/product/907553/leker-hobby/droner-radiostyrt/radiostyrt-tilbehoer/radiostyrt-droneutstyr/dji-phantom-4-intelligent-battery-hicap?gclid=Cj0KCQjw3InYBRCLARIsAG6bfMTngT0XAKY1bRB9JFr6ZOGAT6seQ2_0B0GdT6nGNkko55NYslMYij8aAkmjEALw_wcB#
- Koffert for transport
 - o <https://rcbutikken.no/nb-NO/produkter/sekker-og-kofferter/hpre-pha4-2700w-dji-phantom-4-water-and-shockproof-case-with-trolley-and-wheels.aspx>
- Ladehub for batteri til drone
 - o <https://rcbutikken.no/nb-NO/produkter/dji-phantom-4/dji-phantom-4-part8-battery-charging-hub.aspx>
- Ekstra propeller
 - o <https://rcbutikken.no/nb-NO/produkter/quadcopter/dji-phantom-4-part25-9450s-quick-release-propeller1cw1ccw.aspx>
- Vernebriller

Prisoversikt innkjøp

Hva	ca. pris pr. enhet	Antall	ca. Pris tot
Drone	16000	1	16000
Ipad	6000	1	6000
Pc	10000	1	10000
Ekst. Batteri	1800	3	5400
Landingsmatte	500	1	500
Ekst. Propp	100	3	300
Lade hub	1000	1	1000
Koffert	2500	1	2500
Vernebriller	100	5	500
Total			42200

I tillegg kommer abonnement på stitchingprogramvare samt ekstra lagring om nødvendig.


12.2 Vedlegg 2 – Deklarasjonsskjema



Luftfartstilsynet
Civil Aviation Authority of Norway

Deklarasjonsskjema for oppstart som RPAS-operatør 1 (RO1)

Oppstart
 Avslutning av virksomhet

Organisasjonsnummer	Organisasjonens navn	
967247359	Graminor AS	
Adresse		
Hommestadvegen 60		
Postnummer	Poststed	Land
2322	Ridabu	Norge
Telefon	E-post	
95434681	graminor@graminor.no	
Ansvarlig leder		
For- og mellomnavn	Etternavn	
NIKOLAI	ØDEGAARD	
Fødselsnummer	Telefon	E-post
	95434681	nikolai321@live.no

[Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.](#)

Jeg bekrefter ved innsendelse av dette dokument at jeg har satt meg inn i de regler som gjelder for virksomhet under RO1 kategori og at det er utarbeidet en operasjonsmanual som skal følges for alle operasjoner med luftfartøy uten fører om bord.

12.3 Vedlegg 3 – RPAS-sertifikat

Side 1 av 1

Resultat av teoriprøve



Navn:	NIKOLAI ØDEGAARD
Fødselsnummer:	[REDACTED]
Klasse:	DRONE
Resultat:	Bestått
Tid benyttet:	27 min
Dato:	17.04.2018
Antall tillatte feil:	10
Antall feil på denne prøven:	[REDACTED]
Antall oppgaver med feil svar:	

Trafikkstasjon: 91 - Hamar trafikkstasjon

25/5-18 

12.4 Vedlegg 4 – Operasjonsmanual Graminor AS



Operasjonsmanual
Luftfartøy uten fører om bord
GRAMINOR AS
RO1
2019

Erklæring

Jeg..... bekrefter med dette at de prosedyrer og kriterier beskrevet i denne operasjonsmanualen skal følges under operasjoner i regi av Graminor AS med luftfartøy uten fører om bord.

Sted.....

Dato.....

Signatur.....



Forord

Graminor AS opererer per dags dato under klasse RO1. Dette medfølger at alle ansatte i Graminor AS som skal oppholde seg eller arbeide i nærheten av luftfartøy uten fører om bord må være kjent med denne operasjonsmanualen. Personer som skal operere luftfartøy uten fører om bord må følge operasjonsmanualen, samt retningslinjer satt av Luftfartstilsynet, Lovverk og Ansvarlig leder på Graminor.

11.02.2019

Nikolai Ødegaard



Begrepsavklaring

RO	RPAS-operatør (finnes i klasse 1, 2 og 3)
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
NOTAM	Notice to Airmen
MTOM	Største tillatte startmasse
Pilot	Den som betjener styringssystemet til luftfartøyet
Fartøysjef	Pilot som er ansvarlig for å føre luftfartøyet og sikkerheten under flyvning
VLOS	Visual Line Of Sight
EVLOS	Exstended Visual Line Of Sight
BLOS	Beyond visual Line Of Sight
RGB-sensor	Rød, Grønn, Blå bånd sensor (Kamera)
Gimbal	Gyrostabilisert oppheng for sensor/kamera
GPS	Global Positioning System
GLONASS	Russiske GPS system
RTK	Real Time Kinematic (mere nøyaktig GPS posisjonerings system)
RTH	Return To Home
UCH	University of Copenhagen
6P2	Public Private Partnership Plant Phenotyping Project, Del 2



Innhold	
Forord	2
Begrepsavklaring	3
Generelle retningslinjer for Graminor AS	5
Spesielle retningslinjer RO1	5
Operative bestemmelser	5
Virksomhetens oppbygging	7
Leder(e)	7
Piloter	7
Operasjonstyper	8
Opplæring	8
Normal	8
Forberedelser for flyvning	8
Prosedyrer rett før takeoff	8
Prosedyrer under flyvning	9
Prosedyrer rett etter flyvning	9
Spesiell	9
Vedlikeholdsrutiner	10
Luftfartøy register	11
Referanser	12
Vedlegg	13
Vedlegg 1 - Fly logg	13
Vedlegg 2 - Normal prosedyre	14
Vedlegg 3 - Samtykkeerklæring RO1 flyvning	16



Generelle retningslinjer for Graminor AS

Generelle krav for RPAS operatører. Disse kapitlene er basert på Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord, - Kap. 3, 4, 7 (Samferdselsdepartementet, 2019).

- § 1 Flyvning skal bare skje hvis virksomheten har ansvarlig leder, operativ leder og teknisk leder (en person kan inneha flere oppgaver)
- § 2 Det er ikke tillatt å transportere hverken gods eller passasjerer i regi av Graminor
- § 3 Pilot, og fartøys skal sikre at høydeforskriften på maks 120 meter overholdes med høydebegrensning på software
- § 4 Alle rotordrevende luftfartøy i Graminor sitt eie skal ha fail-safe system i tilfelle tap av kontroll. (Return to home point)
- § 5 Operatøren er uansett ansvarlig for skade eller tap på tredjeparts eiendom/eiendel/person
- § 6 Operatøren skal forsikre seg før takeoff, at forsikringene er i orden slik at man er dekket for skade på tredjeperson eiendom/eiendel/person
- § 7 Det er ikke tillatt med alkohol eller våpen i tilknytning med operasjon av luftfartøy uten fører om bord, fører av luftfartøy skal ikke være påvirket av hverken alkohol eller andre rusmidler
- § 8 Ved endringer i virksomheten plikter operatør å sørge for korrekt og oppdatert hos luftfartstilsynet, det samme gjelder om virksomheten skulle opphøre

Operatør av type RO1 må innen 1. april 2019 bekrefte at virksomhet ikke er opphørt, for fortsatt å være registrert som operatør hos luftfartstilsynet

Spesielle retningslinjer RO1

- § 9 RO1 har en MTOM på opptil 2,5 kg, maks hastighet er 60 knop, det skal opereres kun VLOS i dagslys, innenfor fastsatte sikkerhetsavstander
 - § 10 Krav til organisering. Ansvarlig leder har det overordnede ansvaret for virksomheten, må kunne godtgjøre at organiseringen er tilpasset virksomhetens størrelse og kompleksitet, ansvarlig leder må være over 18 år. Operativ leder skal sikre at operasjonsmanualen følges under operasjoner. Teknisk leder skal sikre at luftfartøyene til virksomheten er luftdyktige
 - § 11 Alle operatører skal ha en operasjonsmanual tilgjengelig under flyvning.
 - § 12 Det skal føres logg over flyvetid, type fartøy, hvem som har utført, tidspunkt, høyde og område (se vedlagt loggskjema)
 - § 13 Operatør skal påse at luftfartøyet vedlikeholdes i henhold til produsentens anvisninger
 - § 14 Fartøyet skal merkes med **Graminor AS, og TLF til ansvarlig leder**
 - § 15 Piloter må demonstrere tilstrekkelig flyveferdigheter, samt kunne relevant regelverk og operasjonsmanualen til Graminor AS for å kunne utøve flyvning i regi av Graminor AS
- Operative bestemmelser
- § 16 Alminnelige lufttrafikkregler gjelder for luftfartøy uten fører om bord.



§ 17 Piloter og fartøysjef plikter å gjøre seg kjent med gjeldene lufttrafikk -organisering, -klassifisering og -tjenesteenhet for området det opereres i

§ 18 Luftfartøy uten fører om bord har vikeplikt for all annen lufttrafikk

§ 19 Pilot og fartøysjef skal gjøre seg kjent med alle tilgjengelige relevante opplysninger for det område det skal opereres i (luftfart, vær, bebyggelse, verneområder mm.)

§ 20 Det skal ved flyvning holdes nødvendig sikkerhetsavstand om ikke annet er skriftlig avtalt (signert kontrakt), det skal ikke flys høyere enn 120 meter fra bakke/vann overflate, nærmere enn 150 meter fra folkeansamlinger større enn 100 personer, nærmere en 50 meter fra tredjeparts person, motorkjøretøy, eller bygning som ikke er under ansvarlig leders kontroll

§ 21 FPV er kun tillatt i RO1 dersom en Pilot eller fartøysjef har VLOS kontakt med luftfartøyet

§ 22 EVLOS er kun tillatt dersom dette er avklart (tillatelse) med Luftfartstilsynet om denne operasjonstype. Det skal være toveis kommunikasjon mellom observatør og pilot.

§ 23 Det er ikke tillatt og fly i nærheten av militært område, ambassader eller fengsel. Det skal holdes et minimum av 5 km fra enhver flyplass, innflyvning eller lignende

§ 24 Det skal ikke flys i nærheten av ekstraordinære hendelser om ikke dette er avklart med innsattsleder for hendelsen



Virksomhetens oppbygging

Leder(e)

Nikolai Ødegaard

nikolai.odegaard@graminor.no

+47 954 34 681

RPAS – Sertifikat

Ansvarlig leder, Operativ leder og Teknisk leder

Piloter

1. Nikolai Ødegaard

nikolai.odegaard@graminor.no

+47 954 34 681

RPAS – Sertifikat



Operasjonstyper

Det er tatt utgangspunkt i Luftfartstilsynets prosedyrer for operasjon, og tilpasset Graminor sin RPAS virksomhet (Luftfartstilsynet, 2019).

Opplæring

1. Gjennomfør *Nettkurs for droneoperatører* på Luftfartstilsynet sine hjemmesider.
2. Med GPS aktivert
 - a. Fly bakover/framover med fast retning
 - b. Fly i sirkel med fast retning
 - c. Fly i 8 tall med fast retning
 - d. Fly i 8 tall med nesa framover
 - e. Fly i 360 graders sirkel med nesa rett mot objektet (10-50 meter i diameter)
 - f. Fly i 360 graders sirkel med nesa ut fra objektet (10-50 meter i diameter)
3. Uten GPS, i manuell modus
 - a. Hold fartøyet i posisjon med nesa fremover (2 min)
 - b. Hold fartøyet i posisjon med nesa til høyre (2 min)
 - c. Hold fartøyet i posisjon med nesa til venstre (2 min)
 - d. Hold fartøyet i posisjon med nesa mot deg selv (2 min)
 - e. Fly bakover/framover med fast retning
 - f. Fly i sirkel med fast retning
 - g. Fly i firkant med fast retning
4. Inneha kontroll på nødstop av drone, og tredjepartsprogram
5. Grunnleggende forståelse for oppsett og bruk av flightplan program
6. Kjenne til loggføringsrutiner
7. Kjenne til rutiner for lagring, behandling og prosessering av innsamlet data
8. Kjøre en komplett gjennomføring av en *Normal* operasjon gjennomføring

Normal

Forberedelser før flyvning

1. Bestemme seg for type flyvning, VLOS manuell/GPS styrt eller FPV
2. Kontrollere området operasjonen skal gjennomføres, (flyplasser, veier, bolighus mm)
3. Kontroller værmelding
4. Kontroller software og hardware (oppdateringer og status på flyet, batterier, kamera, minnekort, kabler, osv.)
5. Planlegge autonom GPS flyvning
6. Ta med operasjonsmanual, logg, og forsikringsbevis

Prosedyrer rett før takeoff

1. Kontroller luftrom, været og omgivelser
2. Kontroller NOTAM for området
3. Notere ned viktig info på logg
4. Legg ut takeoff/landingsmatte
5. Kontroller propeller, lys, gimbal, og kameras ytre
6. Sjekk at minnekort er satt i
7. Kontrollere at batteri er satt skikkelig på plass
8. Start konsoller/Ipadd
9. Start opp drone, få kontakt med kontroller



10. Last inn flightplan

Prosedyrer under flyvning

1. Ta på vernebriller
2. Kontroller GPS/RTK signalstyrke
3. Ta et testbilde av på bakken
4. Start flightplan
5. Takeoff
6. Kontroller luftrommet for fugler, fly ol.
7. Ha under hele flyvningen kontroller klar, i tilfelle 3. part flightplanprogram skulle feile
8. Automatisk bilde taking avsluttes, RTH
9. Under automatisk landing, ta å snu kamera å ta et oversiktsbilde over området
10. Assister landing slik at drone lander på landingsmatte (pga. sensor/kamera)

Prosedyrer rett etter flyvning

1. Slå av drone
2. Slå av kontroller
3. Skrive logg
4. Kontroller propeller, gimbal, kamera/sensor
5. Pakk ned utstyret

Spesiell

Ved spesielle operasjonstyper skal det utarbeides egen spesiellaget operasjonsmanual for den enkelte operasjon, dette skal utføres av ansvarlig leder.



Vedlikeholdsrutiner

Hva	Hver flyvning	Hver Uke	Hver mnd.	Hvert år
Kamera	X			X
Gimbal	X			X
Batteri			X	X
Propeller		X		
Software	X	X	X	X

Små utbedringer gjøres av teknisk leder på Graminor, ved større inngripen kontaktes DJI service.

På Dji Phantom 4 Pro RTF skal batteri og innfestning til batteri sjekkes ekstra grundig, erfaringer fra UCH, 6P2 i 2018 da en drone falt ned fra 50 meters høyde pga. batteri som hoppet ut av dronen.



Luftfartøy register

Fartøy 1. **DJI Phantom 4 Pro RTF**

Anskaffet våren 2018

Reg. nr.

Logg. To registrerte uhell/krasj 2018, gjennomført vedlikehold av teknisk leder.



Referanser

- Luftfartstilsynet. (2019). *Dronekurs - Modul B*. Hentet fra <https://luftfartstilsynet.no/droner/kommersiell-bruk-av-drone/nettkurs-drone/>
- Samferdselsdepartementet. (2019, Februar 11). *Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.* Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>
- Westergaard, J. C. (2018). *UAV Team Flight log - 6P2*. København: University of Copenhagen, Upublisert.



Vedlegg

Vedlegg 1 - Fly logg

GRAMINOR UAV Team Flight log (version 2018-06-16)



Date: 2018- Location: _____

Geo.ref.: _____

Crop type: _____ Growth stage: _____ Crop temp.: _____

Crop comments: _____

Flight comments: _____ **Cont. back side**

	Flight #1	Flight #2	Flight #3	Flight #4
PILOT(certificate#)				
Drone(reg#)				
RC				
Batt. #				
Start: %, Volt	%, Volt	%, Volt	%, Volt	%, Volt
End: %, Volt	%, Volt	%, Volt	%, Volt	%, Volt
FLIGHT				
VLOS/BVLOS/BRLOS etc				
Height <small>(above ground/max)</small>				
Start point <small>(Geo.ref or explain)</small>				
Direction(s) <small>(north/south etc)</small>				
START time <small>(take-off)</small>	@	@	@	@
END time (landing)	@	@	@	@
Time of Flight (min)				
IMAGING				
Camera	P3/Sequoia/XT/X5	P3/Sequoia/XT/X5	P3/Sequoia/XT/X5	P3/Sequoia/XT/X5
Sensor	RGB /Spectral/Term.	RGB/Spectral/Term.	RGB/Spectral/Term.	RGB/Spectral/Term.
ISO				
F-stop				
Shutter time				
White balance				
Housing angle <small>(or gimbal comment)</small>	Downward	Downward	Downward	Downward
ENVIRONMENTAL				
Air temperature	° Celcius	° Celcius	° Celcius	° Celcius
START: The sky is: <small>(clear, mixed, cloudy, night, etc.)</small>				
Lux, @ start time	Lux, @ h	Lux, @ h	Lux, @ h	Lux, @ h



Lux, @time	Lux, @	h	Lux, @	h	Lux, @	h	Lux, @
Lux, @ end time	Lux, @	h	Lux, @	h	Lux, @	h	Lux, @
END: The sky is: (clear, mixed, cloudy, night, etc.)							

Figur 1 (Westergaard, 2018)

Vedlegg 2 - Normal prosedyre



Område kontroll

Hva	Kontrollert	Merknad
Sjekk for ledninger og høyspent		
Dyr		
Mennesker/tilskuere		
Eiendom i nærheten		
Værforhold		
Søke tilatelse fra grunneier		
Ha flere mulige landingsplasser klar		
kontrollerer instilt flyhøyde, mtp. Hinder		

Drone

Hva	Kontrollert	Merknad
Ytre inspeksjon		
Propeller, brudd, skader el.		
Kamera, riper, støv, skader		
Gimbal		
RTH knapp satt på ny sikker plass		
Dronen er satt i GPS mode		
Kontrollere høyde instillinger		

Operasjonplan

Hva	Kontrollert	Merknad
Alle handlinger skal være planlagt		
Operasjon og flygeplan bør deles		
Trygge flyruter hvis nød bør opprettes		



Før flyging

Hva	Kontrollert	Merknad
kontrol. Sendere på DRONE		
Batteri		
Frekvens konflikt		
Kontrol. Gimbal, kamera funksj.		
Ta et testbilde		
Kont autopilot		
SD minnekort		
GPS signal		
Ved takeoff kont lyd/ulyd		

Under flygning

Hva	Kontrollert	Merknad
Ved man. Flygning fingere på kontroll		
Aldri la dronen komme ut av syne		
Klatre til sikker høyde ikke over 120 m		
Kontroller luftrom til enhver tid		
Kontroller landingsplass(er)		
Annonser høyt "Landing"		
Land forsiktig, bruk landingsmattee		
Sørg for avstand til tilskuere		

Etter flygning

Hva	Kontrollert	Merknad
Skru av Drone ved 2*trykk på av		
Slå av senderen		
kontroller flyet visuelt etter skader		
Sjekk bilder, last over, tøm minnekort		
Logg flyturen		



Vedlegg 3 - Samtykkeerklæring RO1 flyvning



Samtykkeerklæring RO 1 flygning

Samtykkeerklæring for flygning med drone nærmere enn 50 meter fra bygninger, ved registrering av data på GRAMIONOR AS sine forsøksfelter.

Lov om RPAS

§ 51. Sikkerhetsavstander, maksimal flygehøyde

All flyging må skje på en hensynsfull måte som ikke utsetter luftfartøy, personer, fugler, dyr eller eiendom for risiko for skade eller for øvrig er til sjenanse for allmennheten.

Luftfartøyet må til enhver tid være godt synlig for den som fører det. Ved enhver flyging skal det holdes nødvendige sikkerhetsavstander. Det er ikke tillatt å fly

- a) høyere enn 120 meter over bakken eller vannet*
- b) nærmere enn 150 meter fra folkeansamling på mer enn 100 personer*
- c) nærmere enn 50 meter fra personer, motorkjøretøy eller bygning som ikke er under pilotens og fartøysjefens kontroll.*

Jeg erklærer herved at GRAMINOR AS kan fly RPAS (Drone) mindre enn 50 meter fra eiendom, bygninger, motorkjøretøy og personer, til enhver tid.

Dato..... Sted..... Sign.....



Graminor

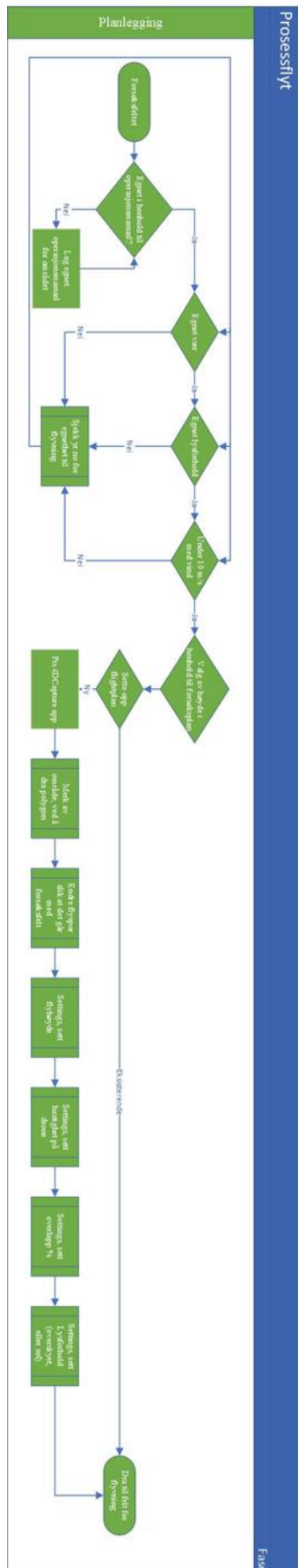
Hommelstadvegen 60, 2322 Ridabu

Sentralbord: 62 55 55 00

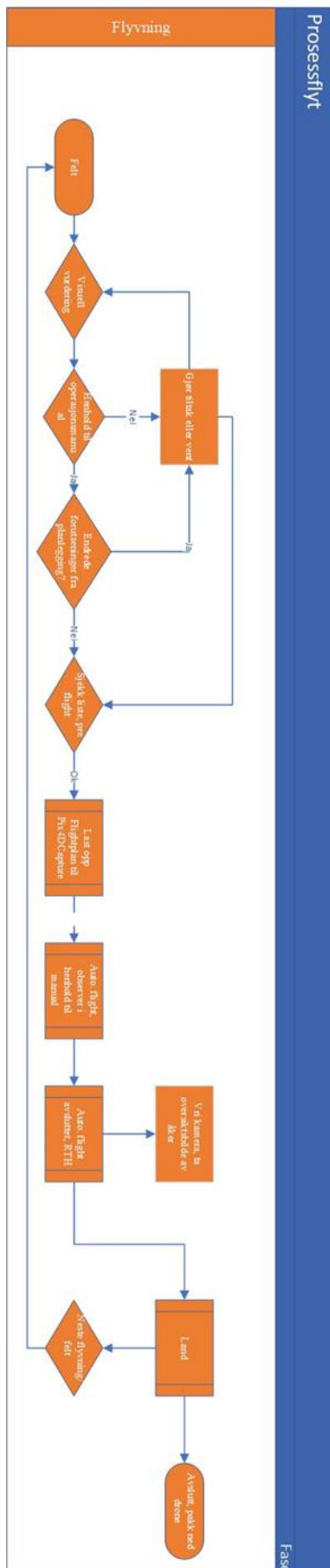
E-post: graminor@graminor.no

www.graminor.no

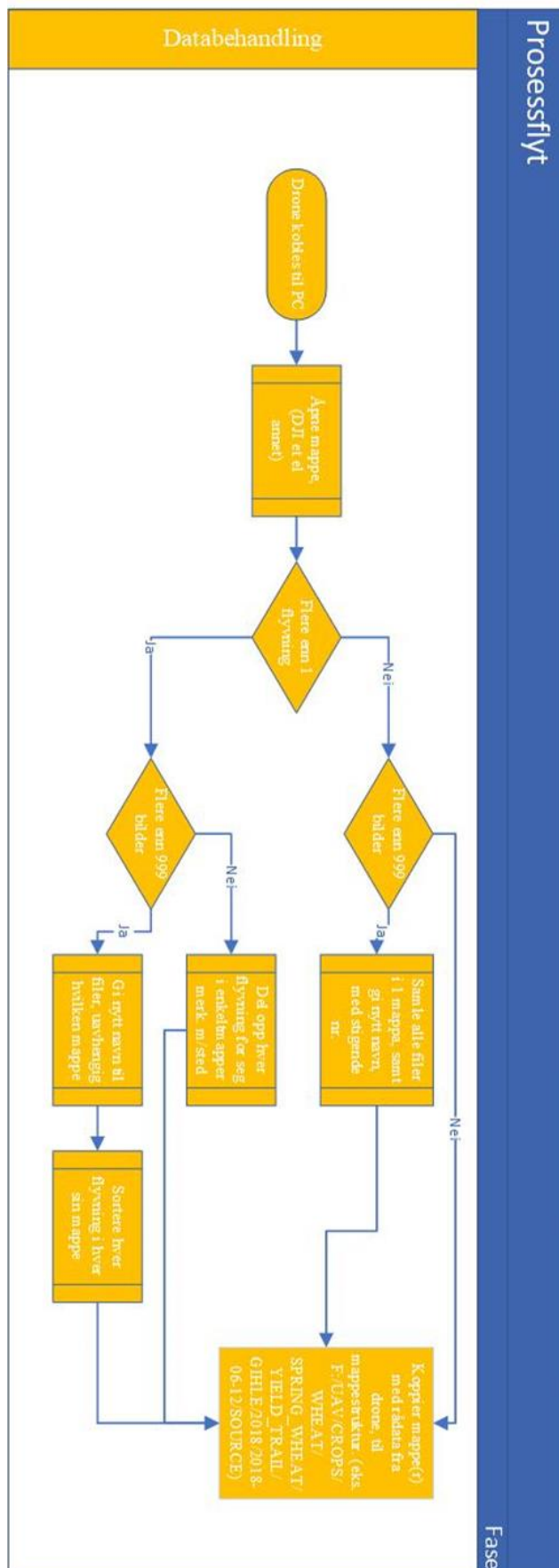
12.5 Vedlegg 5 – Flytskjema 1 - Planlegging



12.6 Vedlegg 6 – Flytskjema 2 – Flyvning



12.7 Vedlegg 7 – Flytskjema 3 – Databehandling



12.8 Vedlegg 8 – Flyskjema 4 – Stitching av mosaikk

