



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK)

Komparativ evaluering i avlingsvariasjon mellom Sentinel-2, droner og høyopløsningdata av KI for norsk presisjonslandbruk

Comparative assessment of crop variability
between Sentinel-2, drones and AI super-resolution
image for Norwegian precision agriculture

Jude Michael Bihay Amameo
Master i Geomatikk

M30-GEOM vår 2024 - kandidat 36

14. mai 2024

Sammendrag

Bærekraftig matproduksjon, økt avling og minske det økologiske fotavtrykket har vært viktige tema innenfor norsk landbruk. Presisjonslandbruk er en nyere teknikk som kombinerer landbruksredskaper med nyere teknologi for å bedre forvalte og allokere av ressurser. Eksempelvis ved tildeling av nitrogen gjødsel. Norske bønder benytter Sentinel-2 satellittdata og multispektral droner for å vurdere avlingstilstand. Høyoppløsningsdata generert fra KI kan løse utfordringer/begrensninger Sentinel-2 og drone har rundt skalerbarhet og lønnsomhet. I oppgaven sammenliknet vi Sentinel-2 satellittdata, DJI P4 drone og Digifarms høyoppløsningsdata fra KI for å undersøke om romlig oppløsning har en betydning for å detektere variasjon i jord- og avlingstilstand. Testområdet var i Vollebekk i Ås med to grenseområder kalt polygon A [2.4 daa] og polygon B [9.3 daa]. Med fire målinger av samme opptaksdato er det funnet en signifikant forskjell i variasjon deteksjon på tvers av datakildene. Ved stedsnøyaktighet var resultatet inkonklusiv på hvilke datakilde som presterte best grunnet manglende data fra Sentinel-2 og Digifarm. I en videre analyse ble det funnet at Digifarms data presterte bedre i detektere variasjoner i jord- og avlingstilstand enn drone. Dette kan tyde på at Digifarms data kan måle seg like bra eller bedre enn drone, forutsatt god stedsnøyaktighet. Videre ble det funnet at Digifarms data estimerte hhv. -30,3 % og -32,0 % mindre behov for nitrogentildeling enn drone, basert på polygon A og B. Ved disse to funnene kan høyoppløsningsdata fra KI være en alternativ for bønder som ønsker å bespare på tid og ressurser, samt løse utfordringer rundt skalerbarhet og lønnsomhet ved dronemålinger. Vi håper derfor at norske bønder er åpne for å ta i bruk dette til forbedring av dagens presisjonslandbruk.

Abstract

Sustainable crop production, crop yield increase and reducing ecological footprint are important themes within Norwegian agriculture. Precision agriculture is a new technique that combines agricultural tools with newer technology to better manage and allocate resources effectively. In particular applying variable rate application of nitrogenous fertilizers. Norwegian farmers use Sentinel-2 satellite data and drones to assess crop variability. AI-based super-resolution image is a viable solution to address the challenges/limitations around Sentinel-2 and drones. In the context of scalability and profitability. In this research paper, we are comparing Sentinel-2 satellite imagery, drones and super-resolution imagery from Digifarm to evaluate whether spatial resolution impacts within-field detection of soil and crop variability. The test area conducted was at Vollebekk in Ås and consisted of two areas named polygon A [2.4 daa] and polygon B [9.3 daa]. With 4 measurements used, we found a statistical difference in the detection of soil and crop variability between groups. The evaluation of which of the groups that scored best in the geolocation accuracy was found to be inconclusive. This was due to missing geolocation error data of Sentinel-2 and drone. Further analysis tells us that the data from Digifarm performs the same or better than drones, assuming high geolocation accuracy. Furthermore, the results indicate that the data from Digifarm estimated -30.3% and -32.0% in reduction of required fertilization compared to drones, based on the area of polygon A and B respectively. These two findings suggest that super-resolution imagery could be an alternative for farmers who wants to save time and resources. Additionally, solving challenges regarding scalability and profitability from drone measurements. We hope that Norwegian farmers are open to using this technology as an improvement of today's precision agriculture.

Annerkjennelse

Jeg ønsker å takke veilederne mine, Misganu Debella-Gilo og Nils Bjugstad for støtte og veiledning gjennom veien. Tusen takk til DigiFarm som samarbeidspartner. Deriblant Nils Helset og Leonardo Ibarra for deres databidrag og ekspertise. Tusen takk til Sahameh Shafiee og Tomasz Mroz fra Institutt for Plantevitenskap for utlån av drone og deltakelse i phd-forelesninger sommeren 2023. Jeg takker de for at jeg fikk mulighet til å drive feltarbeidet ved SKP Vollebekk Friland. Avslutningsvis, ønsker jeg å takke venner, familie og min tid på NMBU.

Innhold

1	Forkortelser	9
2	Liste over figurer & tabeller	10
3	Innledning	16
3.1	Bakgrunn	16
3.2	Oppbygging	18
4	Litteraturstudie	19
5	Teori	27
5.1	Multispektrale bilder	27
5.2	Presisjonslandbruk	27
5.3	Variabel tildeling	29
5.4	Romlig oppløsning	30
5.5	Tidsmessig oppløsning	31
5.6	Single Image Super Resolution	32

5.7	Vegetasjonsindekser	33
5.8	MSAVI2	34
5.9	Lineær regresjon	34
5.10	Variansanalyse	35
6	Metode	37
6.1	Innledning	37
6.2	Testområde	40
6.3	Verktøy	44
6.4	Tidsplan	47
6.5	Kvalitativt undersøkelse	47
6.6	Etisk bruk av KI (ChatGPT)	49
6.7	Feltarbeid	50
6.7.1	Forarbeid	50
6.7.2	GCP-punkter	52
6.7.3	DJI P4 dronemålinger	54
6.7.4	Radiometrisk kalibrering	57
6.8	Droneprosessering v/ Pix4D Mapper	61
6.9	Sentinel-2	64
6.10	DigiFarm	65
6.11	Etterprosessering v/ ArcGIS Pro	67
6.11.1	Dronebilder	67
6.11.2	Sentinel-2 data	68
6.11.3	DRv3 data	69
6.12	Interpolasjon	71
6.13	Nitrogenopptak	72
7	Resultat	75

7.1	Geometrisk nøyaktighet av RGB	75
7.2	Tematisk nøyaktighet MSAVI2	76
7.3	Tematisk nøyaktighet N-tildeling	85
7.4	Total vurdering	87
8	Diskusjon	87
8.1	Resultat & funn	88
8.1.1	Geometrisk nøyaktighet	88
8.1.2	Tematisk nøyaktighet i N-gjødsel	89
8.1.3	Tematisk nøyaktighet i MSAVI2	92
8.2	Datanalyse & statistikk	94
8.3	Metode	97
8.3.1	Droneprosessering	97
8.3.2	Dronemålinger	98
8.3.3	GCP-punkter	100
8.3.4	Kvalitativt undersøkelse	101
8.3.5	Testområde	102
8.3.6	Tidsmessig oppløsning	103
8.4	Videre forskning	104
9	Konklusjon	105
A	Appendiks	111
A.1	Referat av intervju	111
A.2	Spesifikasjoner - kalibreringsplate	113
A.3	Feltlogg fra feltarbeid 2023	114
A.4	RGB - alle resultater	133
A.5	MSAVI2 - alle resultater	139
A.6	Topcon GCP Polygon A & B rapport	145

A.7 ChatGPT 4.0 prompt April 29 version	148
A.8 ChatGPT 4.0 prompt April 30 version	151
A.9 Interpolert rådata til MSAVI2-statistikk	153

1 Forkortelser

GIS	Geographical Information Systems
UTM	Universal Transverse Mercator
MS	Multispectral
PA	Precision Agriculture
VRA	Variable Rate Application
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
RTK	Real Time Kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
CPOS	Centimeterposisjon
GCP	Ground Control Points
GSD	Ground Sample Distance
NIR	Near-infrared
RE	Red Edge infrared
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index (Qi et al.(1994))
CNN	Convolutional Neural Network
ANOVA	Analysis of Variance
Ha	Hektar
daa	Dekar
χ^2	Chi Squared test
RMSE	Root Mean Square Error
KI	Kunstig Intelligens
df	Degrees of Freedom
H_0	Nullhypotese
H_1	Alternativ hypotese

2 Liste over figurer & tabeller

Figurer

1	Skisse over hvordan RRDB er strukturert (Akhtman, 2023) . . .	25
2	Oversikt mellom RGB og multispektrale bilder (Zabalza, 2015)	27
3	Brukermanual fra YARA Norge over hvordan YARA N-sensor fungerer fra side 4 (ASA, 2023)	28
4	UAV oversikt fra NOVA kurs 2023 UAV-forelesning side 6 (Shafiee, 2023)	29
5	Oversikt over Landsat kontra Sentinel-2 (Cerasoli mfl., 2018) .	29
6	Dette bildet viser en bedre oversikt på Sentinel-2 bånd og deres respektive GSD. (Kaplan & Avdan, 2017)	31
7	Hvordan Digifarms SISR-modell fungerer (Akhtman, 2023) . .	32
8	Skisse på hvordan CNN-basert Single Image Super-Resolution fungerer (Salaria, 2023)	33
9	Testområde SKP Vollebekk avd. Friland (Statens vegvesen, 2023)	40
10	Polygon A grenseområde v/ Norge i Bilder (Statens vegvesen, 2023)	42
11	Polygon B grenseområde v/ Norge i Bilder (Statens vegvesen, 2023)	42
12	Polygon A - Dronebilde 24.06.2024	43
13	Sentinel HUB EO Browser nettside («Sentinel Hub EO Browser», udatert)	46
14	Anbefalt plassering av GCP-punkter (Shafiee, 2023)	51
15	GCP-punkter polygon A	52
16	GCP-punkter polygon B	52

17	GCPA pkt.1	53
18	GCPA pkt.2	53
19	GCPA pkt.3	53
20	GCPA pkt.4	53
21	GCPA pkt.5	53
22	GCPA pkt.6	53
23	GCPA pkt.7	53
24	GCPA pkt.8	53
25	GCPA pkt.9	53
26	GCPB pkt.1	54
27	GCPB pkt.2	54
28	GCPB pkt.3	54
29	GCPB pkt.4	54
30	GCPB pkt.5	54
31	GCPB pkt.6	54
32	GCPB pkt.7	54
33	Anbefalt bildeoverlap for dronemåling (Shafiee, 2023)	56
34	24.06.2023	57
35	26.06.2023	58
36	21.07.2023	58
37	23.08.2023	59
38	04.09.2023	59
39	24.09.2023	60
40	Sphereoptics (store platen)	60
41	Micasense (lille platen)	60
42	Radiometrisk kalibrering av DJI drone med Micasense	61
43	Import av data	62

44	Input koordinatsystem	62
45	Output koordinatsystem	63
46	Agriculture (AG) multispectral prosessering	63
47	Import av GCP-punkter	63
48	Eksempel manuell korrigerings av GCP-punkt	63
49	Steg for steg droneprosessering	64
50	Oversikt kalibrering	64
51	Eksempel kalibrering av bånd rød	64
52	Sentinel EO HUB («Sentinel Hub EO Browser», udatert) . . .	65
53	Eksport av TIFF-fil («Sentinel Hub EO Browser», udatert) .	65
54	DRv2 rådata	66
55	DRv3 rådata	66
56	Digifarm eksempel DRv2 mot DRv3 fra e-post den 11.12.2023	67
57	Eksempel drone RGB-bilde avgrenset til polygon B	68
58	Eksempel drone MSAVI-bilde avgrenset til polygon B	68
59	Raster histogram av DRv3 i QGIS versjon 3.22.16	70
60	Digifarms bånd 6, 7 sammenlikning for å finne ut NIR-bånd .	70
61	Eksempel interpolasjon opptaksdato 24.06.2023	72
62	Korrelasjon av MSAVI2 og N-opptak av alle varianter av høsthvete(Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016)	72
63	Resultat 24.06.2023	77
64	Resultat 28.08.2023	77
65	Resultat 04.09.2023	78
66	Resultat 24.09.2023	79
67	Polygon B - 23.06.2023	133
68	Polygon A - 24.06.2023	133
69	Polygon B - 24.06.2023	133

70	Polygon B - 26.06.2023	134
71	Polygon A - 28.06.2023	134
72	Polygon B - 28.06.2023	134
73	Polygon A - 19.07.2023	135
74	Polygon B - 19.07.2023	135
75	Polygon A - 20.07.2023	135
76	Polygon B - 20.07.2023	136
77	Polygon A - 21.07.2023	136
78	Polygon B - 21.07.2023	136
79	Polygon A - 23.08.2023	137
80	Polygon B - 23.08.2023	137
81	Polygon A - 04.09.2023	137
82	Polygon B - 04.09.2023	138
83	Polygon A - 24.09.2023	138
84	Polygon B - 24.09.2023	138
85	Polygon B - 23.06.2023	139
86	Polygon A - 24.06.2023	139
87	Polygon B - 24.06.2023	139
88	Polygon B - 26.06.2023	140
89	Polygon A - 28.06.2023	140
90	Polygon B - 28.06.2023	140
91	Polygon A - 19.07.2023	141
92	Polygon B - 19.07.2023	141
93	Polygon A - 20.07.2023	141
94	Polygon B - 20.07.2023	142
95	Polygon A - 21.07.2023	142
96	Polygon B - 21.07.2023	142

97	Polygon A - 23.08.2023	143
98	Polygon B - 23.08.2023	143
99	Polygon A - 04.09.2023	143
100	Polygon B - 04.09.2023	144
101	Polygon A - 24.09.2023	144
102	Polygon B - 24.09.2023	144

Tabeller

1	Koordinater Polygon A	42
2	Koordinater Polygon B	42
3	Verdier for radiometrisk kalibrering	61
4	Geometrisk nøyaktighet av DJI P4 MS drone	75
5	Digifarm DRv3 - geometrisk nøyaktighet	75
6	Sentinel-2 - geometrisk nøyaktighet	76

80table.caption.56

80table.caption.57

9	Polygon A - Dunns test post hoc 24.06.2023	81
10	Polygon A - Dunns test post hoc 28.08.2023	82
11	Polygon A - Dunns test post hoc 04.09.2023	82
12	Polygon A - Dunns test post hoc 24.09.2023	82
13	Polygon B - Dunns test post hoc 24.06.2023	82
14	Polygon B - Dunns test post hoc 28.08.2023	83
15	Polygon B - Dunns test post hoc 04.09.2023	83
16	Polygon B - Dunns test post hoc 24.09.2023	83
17	Polygon A - Oversikt N-gjødselsmengde	86
18	Polygon B - Oversikt N-gjødselsmengde	86

19	Totalvurdering	87
20	GCP (plater, men takhjørner ekskludert) Polygon A fra Topcon	146
21	GCP (paller og naturlige punkter) Polygon B fra Topcon . . .	147

3 Innledning

3.1 Bakgrunn

Bærekraftig matproduksjon har ikke vært mer sentralt, spesielt i tråd med fremtidige klimaendringer og befolkningsvekst i Norge og verden. Med klimautfordringer Norge står ovenfor bl.a. tørke, økt nedbør og flom, er det viktig å utvikle eksisterende landbruksteknologi for at bønder skal bedre ruste seg til avlingsusikkerheten fremtiden bringer. I FNs bærekraftsmål nr. 2 og delmål 2.4 som Statistisk Sentralbyrå (SSB) sin rapport fra 2018 siterte, er ett av målene for å oppnå «... matsikkerhet og fremme bærekraftig landbruk» og «... innføre robuste landbruksmetoder som gir økt produktivitet og produksjon» innen 2023. (Nørgaard mfl., 2018). En nyere teknikk innen landbruk kalt presisjonslandbruk (PA) gjør dette mulig ved å samkjøre eksisterende og nyere teknologi.

Den første typen som benyttes av norske bønder i dag er ved bruk av optisk sensor, eksempelvis YARA N-sensor. Denne optiske sensoren festes ved traktoren og viser sanntidsinformasjon av avlingstilstanden. Samt estimere nødvendig N-gjødslingsmengde ved å kartlegge ulike mengder ut ifra posisjon gjennom en teknikk kalt variabel tildeling (VRA). Det finnes dog andre typer datakilder for PA enn optisk N-sensor som kan gjøre samme jobben, bare enklere. En annen tilnærming er satellitt- og UAV-basert PA. Mange bønder benytter tjenester som CropSAT og YARA Atfarm for å overvåke deres avlingstilstander. Denne satelittbaserte PA fra den multispektrale Sentinel-2 satelliten, gjør det lett tilgjengelig å benytte for bønder å overvåke avlingstilstanden fra multispektrale bånd til å genere vegetasjonsindekser, MS-AVI2 for CropSAT i dette tilfelle (Söderström, Stadig, Martinsson, Persson & Stenberg, 2016). Fra dette kan tjenesten avlede og estimere optimal N-

gjødslingsmengde [kg/Ha] gjennom VRA. Den tredje vanligste datakilden norske bønder benytter er ved bruk av multispektral droner for presisjonslandbruk. Multispektrale droner har fordeler i form av bærbarhet, praktiskhet og det er praktisk mulig å måle når som helst, så lenge værforholdet tillater det.

I forhold til den romlige oppløsningen er følgende fra høyest til lavest oppløsning: Yara N-sensor → dronemålinger på cm-nivå GSD → Sentinel-2 satellittdata 10x10m GSD. Problemstillingen er at for å oppnå høy romlig oppløsning (GSD) og fange opp nøyaktig i GIS-kartvariasjoner for avling- og jordtilstander bør målingen av datakilden være nær bakken, men dette ofrer bort nøyaktighet, skalerbarhet, enkelhet og lønnsomhet i forbindelse med ekstra unødvendig tid og ressurser for bønder. Alle tre datakilder presentert har sine egne problemstillinger som bør adresseres. Nåværende forskning og problemstillinger vil videre redegjøres under litteraturstudie. Dette gjelder bl.a. utfordringer, begrensninger og hull i forskningen for optiske håndholdte N-sensorer, multispektrale droner og Sentinel-2 satellittdata for presisjonslandbruk.

I denne oppgaven ønsker vi å undersøke betydningen av ulike romlig oppløsning for nøyaktighet i å detektere jord- og avlingstilstand.

Dette ved å sammenlikne tre datakilder av ulik romlig oppløsning: Sentinel-2 satellittdata (10x10m), dronebilder og høyoppløsningsdata fra DigiFarm (1x1m). Dette forutsetter at disse GIS-kartvariasjoner ligger i riktig posisjon for det skal være pålitelig til bruk for gjødslingtildeling. En helhetlig vurderingen består av stedsnøyaktighet og nøyaktighet i deteksjon av jord- og avlingstilstander. Disse blir kalt hhv. ”geometrisk nøyaktighet” og ”tematisk nøyaktighet.”. For tematisk nøyaktighet skal vi se på GIS-kartvariasjoner fra vegetasjonsindeksen MSAVI2 (Qi mfl., 1994) og VRA-kart av nitrogenopp-

tak utledet av MSAVI2 på samme basis som CropSAT (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016).

Én av målene vi håper å se er, dersom ulike romlig oppløsning har en betydning for deteksjon av jord- og avlingstilstander, at Digi-farms høyoppløsningsdata kan detektere nøyaktighet i variasjoner like bra eller bedre enn dronemålinger og Sentinel-2. Dersom det er tilfelle kan dette være med på å løse problemstillingen ved at bønder besparerer tid og ressurser ved utfordringer rundt multispektrale droner, samt forbedret oppløsning for optimal gjødslingtildeling enn det CropSAT nåværende tilbyr. Dette kan være med på å løse utfordringer rundt skalerbarhet, lønnsomhet og enkelhet.

Kort oppsummert ønsker vi evaluere og sammenlikne på tvers av datakildene:

- Geometrisk nøyaktighet
- Tematisk nøyaktighet av vegetasjonsindeksen MSAVI2
- Tematisk nøyaktighet av nitrogengjødsel

3.2 Oppbygging

Oppbygging av oppgaven er delt opp følgende: starter først med litteraturstudie for å identifisere nåværende forskning og begrensninger rundt YARA N-sensor, Sentinel-2 satellittdata og UAV multispektrale droner. Dette vil være nyttig for å se behovet for ny teknologi fra Digifarm kan være nyttig til bruk for presisjonslandbruk. Videre kjøres en kvalitativ undersøkelse gjennom spørreundersøkelser fra bønder. Både tidligere forskning og kvalitativ undersøkelse er benyttet for å gi en helhetlig bilde av problemstillingen.

Under metode beskrives hva som har blitt gjort for hver datakilde. Under "Resultat" vil kun sluttresultatet og endelig statistikk legges frem. Disse sluttresultatet (med samme opptaksdato for alle tre datakilder) vil være grunnlaget for resultat- og diskusjonsdelen. Det kan fort hende at det blir mye figurer og bilder som er ikke hensiktsmessig å legge inn under metode og resultat. Derfor vil nødvendige delresultater, bilder og figurer bli vedlagt under "Appendiks". Andre finne nyttige dokumenter er også vedlagt under "Appendiks".

4 Litteraturstudie

For å undersøke hvor nytteverdi som oppgaven prøver å besvare, redegjøres tidligere og nåværende forskning rundt presisjonslandbruk brukt i Norge. Deretter utforske problemer og utfordringer forskerne stod ovenfor.

Innledningsvis publiserte NIBIO en rapport fra 2019 "Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge" med testområde på 400 daa rundt flere åker i Norge. For økonomisk nytteverdi kom de fram til at bønder kunne redusere gjennomsnittlig sprøyting med 50 % av arealet ved presisjonsprøyting av nitrogen ved bruk av optisk håndholdt sensor, bl.a. YARA N-sensor. (Korsæth mfl., 2019) Dette tilsvarte en estimert innsparing på hhv. 13 kr/daa og 15kr/daa for bygg og hvete. Med disse verdiene kan man anslå samlet gevinst på 14 millioner kr ved bruk av presisjonsgjødsling av korn. For miljømessig nytteverdi viste en potensiale i å redusere nitrogentapet til miljøet 8 (i form av lystgass N₂O) med hhv. 0.6 og 0.5 kg/daa for vårhvete og bygg under norske landbruksforhold fra tabell 15. Fra dette kunne man redusere videre klimaklippsutslippene med hhv. 5% og 3% i norske forhold (Korsæth mfl., 2019).

I 2016 publiserte svenske forskere " CropSAT – A PUBLIC SATELLITE-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR VARIABLE-RATE NITROGEN FERTILIZATION IN SCANDINAVIA". Denne forskningsrapporten danner basis for å gratistjenesten CropSAT, der de klart å danne tildelingskart for nitrogengjødsling utledet av Sentinel-2 satellittdata. De nevner bl.a. at traktormonterte YARA N-sensor er den mest brukte optiske sensor for PA i Europa, men for å dekke større landområder og for mer oversikt over avlingsvekst er fjernmålingsbasert foretrukket. (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016) Før 2016 benyttet DMC & satellittdata som utgangspunkt med romlig oppløsning hhv. 22 m & 30 m. Fra 2016 skiftet de over til Sentinel-2 satellitt med nåværende 10x10m GSD som referanse. (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016)

Etter å ha forsket i 26 ulike åker i sør- og sørvest Sverige valgte de å benytte vegetasjonsindeksen "Modified Soil Adjusted Vegetation Index", også kjent som MSAVI2 (Qi mfl., 1994) som de mener var best egnet for CropSAT-tjenesten. Dette er på bakgrunn av at andre vegetasjonsindekser slik som Normalized Difference Vegetation Index - NDVI overmettet tidlig i avlings sesongen, fordi den ikke tar høyde for synlig bar jord (Qi mfl., 1994) som påvirker resultatet. Under resultater i figur 3, har de funnet høy positiv korrelasjon mellom N-opptak fra MSAVI2-data og N-opptak på $r^2 = 0.77$. Videre er det positiv korrelasjon mellom observert N-opptak fra kontrollmåling og estimert N-opptak på $r = 0.74$, 12.7 kg N/ha for høsthvete. (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). Basert på høy korrelasjon, kan dette tyde på satellittbasert presisjonslandbruk viser god nøyaktighet i MSAVI2-verdi og N-opptak på linje med YARA N-sensor. Fra dette har vi stor tro at det er mulig å danne N-tildelingskart utledet av vegetasjonsindeksen MSAVI2.

Basert på forskningen kan det tyde på at satellittbasert presisjonslandbruk kan måles like godt som YARA N-sensor med en $r^2 = 0.77$ (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). Ved å utforske på utfordringer rundt optiske håndholdte sensorer, slik som YARA N-sensor, styrker dette bakgrunnen for oppgaven rundt bruken av satellittbasert PA og høyoppløsningsdata fra satellittbasert PA.

En annen forskningsrapport fra NIBIO utgitt i 2019 “Presisjonsdelgjødsling i Grindstad timoteifrøeng ved bruk av CropSAT”, kommenterte de at “mens traktormontert N-sensor er en relativ stor investering, har utviklingen og bruken av ny teknologi i landbruket gitt flere til å benytte VRA av gjødsling (Øverland & Havstad, 2021).

En annen svensk forskningsrapport i 2004 “Swedish Farmers’ Experiences of the Yara N-Sensor 1998-2003”, har de oppsumert flere av svenske bønders erfaring ved bruk av YARA N-sensor. På bakgrunn av figur 3, nevner at de at ved en tilfeldig utvalg på 135 åkere målt med YARA N-sensor, klarer sensoren å måle i gjennomsnitt rundt 20 Ha (200 daa)(Söderström mfl., 2004). 20 Ha (200 daa) er et relativt lite åkerområde. Noe av utfordringer rundt optiske håndholdte sensorer er nemlig skalerbarhet og lønnsomhet i tid. Basert på funnet fra tabell 1 respondert 20 av 28 bønder fra en kvantitativ spørreundersøkelse. Bøndene beskrev at avlingen og kvaliteten ble homogent, samt at de ikke var overbevist om økt avlingsvekst, til tross for at gjødslingsforbruket var samme eller redusert. (Söderström mfl., 2004).

Denne forskningsrapporten “Upscaling proximal sensor N-uptake predictions in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with Sentinel-2 satellite data for use in a decision support system”, presenterte de begrensningene av optiske sensoren om at bønder “avhenger av store innkjøp og vedlikehold av slike

utstyr. Samt at datamålinger for slike sensorer er tidskrevende, som gjør det mindre egnet eller attraktivt for enkelte bønder” (Wolters mfl., 2021)

Som forskningen tyder, er det utfordringer rundt optiske sensorer (eksempelvis YARA N-sensor) til PA og variabel tildeling synlig. Dette gjenspeiler problemstillingen opplyst i innledning angående begrensningen rundt skalerbarhet og lønnsomhet.

I neste del skal vi se om hvilke redegjøre bruken av UAV multispektral droner til PA og VRA. Samt utfordringer tilknyttet den.

Leste av tidligere NMBU masterstudenters erfaring ved bruk av UAV dronemålinger i samme testområde som denne oppgaven – Vollebekk, Ås. I en masteroppgave fra en REALTEK-student i 2019 ‘‘ Multispectral Image Analysis of Spring Wheat Using UAV and Machine Learning’’, nevnte vedkommende fra diskusjonsdelen kapittel 5.1 at det var mye problem tilknyttet forhåndsplanlagt rute fra autopiloten for DJI P4 MS drone, noe som gjorde at den geometriske og tematiske nøyaktigheten forverret til bruk for datanalyse. I tillegg nevnte vedkommende at enkelte droneflyvninger var ustabile i forbindelse med ujevn flyhøyde og ble sidesporet enkelte ganger (Lied, 2019) .

I en annen masteroppgave fra en annen REALTEK-student i 2017 ‘‘ A Study of Different Platforms and Sensory Systems for Wheat Field Trials’’, presenterte vedkommende under kapittel 4.3 samme utfordring rundt bruken av multispektrale droner. Der presenterte vedkommende også at under enkelte feilkilder, måtte dronemålingene kjøres manuelt framfor å følge forhåndsplanlagt rundt fra autopiloten. Dette gjorde at etterprosesseringen og sluttresultatet ble påvirket negativt og samtidig den geometriske nøyaktigheten. DJI P4 multispektral drone hadde enkelte tekniske feil uten forvarsel under måling. Selv uten tekniske feil, kunne DJI P4 dronen i gjennomsnitt måle opptil 10

minutter i luften (Bleken, 2017) .

Basert fra egen tolkning, kan dette være problematisk, dersom arealbehovet er større enn hva dronen takler. For å overholde begrensningen av batteritiden til dronen, er det tre valg for dronemålinger. Lande flyet for å så skifte batteri hver 10 min som er et tidsfordriv eller fly høyere enn normal for å dekke større areal som vil påvirke den romlige oppløsningen. Ved å fly høyere har man også mindre sikt til dronen, noe som kan være farlig og mindre kontroll, dersom noe skulle skje med dronen. Man kan fly lavere for å øke romlig oppløsning, men grenseområdet reduseres for å overholde én batterimåling.

Fra disse forskningsrapportene er det vist at UAV multispektral droner enkelte tilfeller kan være uegnet, fordi det er mye faktorer som kan gå galt under dronemålinger. Og ved etterprosessering, vil påvirke det geometriske- og tematiske nøyaktigheten. Skalerbarheten er noe bedre enn YARA N-sensor, siden dronen kan måle et større område, men man må ta høyde for vedlikehold og tilfeldige tekniske feil som fører til unødvendig tidsfordriv. Med begrenset avlingsperiode, er riktig gjødslingsmengde til riktig tid avgjørende. Dette tidsfordrivet fører til lavere lønnsomhet i tid og ressurser over lengre perioder, noe som styrker problemstillingen til denne oppgaven om komme fram til et alternativ.

I neste del redegjøres bruken av satellittbaserte PA fra Sentinel-2 satelliten og utfordringer satelliten står ovenfor innen PA og variabel tildeling.

I en 2021 forskningrapport fra Christian-Albrechts-University kalt ”Sentinel-2 Data for Precision Agriculture?—A UAV-Based Assessment”, kommenterte de under diskusjon at Sentinel-2 data har en grovere romlig løsning som påvirker kalibreringen av GIS-kartvariasjoner og anvendelse til avlingsforvaltning. (Bukowiecki mfl., 2021)

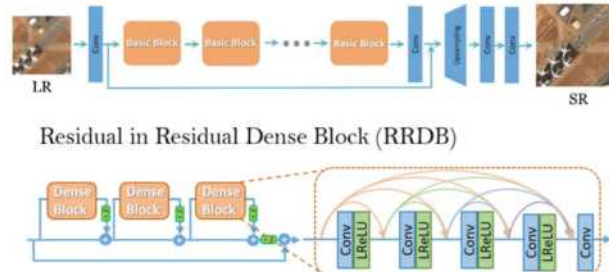
I denne delen redegjøres bruken av dyplæring for å forbedre Sentinel-2s romlige oppløsning fra 10x10m GSD til 2.5x2.5m GSD, der vi videre diskuterer hull i forskningen.

I denne forskningsrapporten fra 2020 "Super-resolution of sentinel-2 images using convolutional neural networks and real ground truth data" (OpenAI, 2024a) ¹, forsket de på å lage høyoppløsningsdata av Sentinel-2 fra 10x10m GSD til 2.5x2.5m GSD ved bruk av Convolutional Neural Network (CNN) dyplæringsmetode og med utgangspunkt i Single Image Super-Resolution (SISR) fra Sentinel-2 satellittdata . Der nevner de under diskusjon at man kan se på andre data som har bedre romlig oppløsning enn 2.5x2.5m GSD for teste de om hverandre. (Galar mfl., 2020). Dette kan være et nåværende hull i forskningen, fordi forskerne snakker de lite å forbedre CNN-basert SISR for å se om det er muligheter for å øke romlige oppløsningen enda mer fra 2.5x2.5m GSD til eksempelvis 1x1m GSD.

I oktober 2023 ble en forskningartikkel lagt ut av Digifarm "Sentinel-2 Deep Resolution 3.0". De annonserte en ny versjon 3.0 "S2DR3" som bygger seg på versjon 2 "S2DR2" fra 2022.(Akhtman, 2023). Digifarm per i dag benytter Sentinel-2 satelittdata. Modellen har klart å gjøre om dårlig romlig oppløsning (10x10m) til generere en høyere romlig oppløsningsdata (1x1m GSD). Denne baseres seg på teorien i "Single Image Super-resolution" (SISR). Datafarm S2DR3 benytter en CNN-basert (Convolutional Neural Network) dyplæringsmetode, hvor man tar utgangspunkt i en nettverksstruk-

¹Benyttet Consensus addon fra ChatGPT 4.0 til å finne denne relevante litteraturstudiet for denne delen, siden det er få forskningsrapporter som snakker om dersom den romlige oppløsningen kan forbedres enda bedre til f.eks 1x1m GSD. Kilden har blitt sitert av flere og er dobbeltsjekket for å forsikre legitimt og pålitelig kilde. Se "Appendiks" for fullstendig prompt

tur kalt "Residual in Residual Dense Block" (RRDB). (Akhtman, 2023) .



Figur 1: Skisse over hvordan RRDB er strukturert (Akhtman, 2023)

Ved denne dyplæringsmodellen, er det mulig å danne høyoppløsningsdata fra dårlige oppløste satellittbilder. For DigiFarms sin del så har de klart forbedre oppløsningen fra 10x10m ned til 1x1m for alle 12 bånd fra Sentinel-2. Versjon 3 er en forbedring fra versjon 2 ved å nedskalere til 1m, samtidig som å beholde originale spektralsignaturen fra Sentinel-2 (Akhtman, 2023). I nettsiden deres nevner de at de klare å lage data rett etter Sentinel-2 opptaksdato. De nevner også at modellen er basert fra opptaksdato som Sentinel-2. Derfor er DigiFarms data begrenset til hver 5 dag, på lik linje med Sentinel-2. De nevner også at valgt grenseområde bør være minst 3 ha (30 daa) i areal for å gi gode resultater. Samtidig som at man får 6 bilder per måned. (DigiFarm, 2024). Antall bilder per måned gir mening siden Sentinel-2 sin tidsmessig oppløsning er 5 dager. Så dataopptak hver 5. dag. Hvis man deler 30 dager på 5, vil man få 6 bilder. Siden de spesialisere seg på å nedskalere romlig oppløsning fra 10x10 m til 1x1 m, er dette en interessant potensiale å utforske. Det ville ha vært å nyttig å se hvor stor fordel er med økt romlig oppløsning til bruk for satellittbasert PA. Dette på bakgrunn av at dagens tjenester som CropSAT benytter Sentinel-2 data med oppløsning 10m (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016), som er uegnet for presisjonslandbruk som krever meter og centimetersnivå. Dette er resonnerer godt med fra Kjølstad

gård sin svar nr. 5 og spm nr. 5 stilt i den kvalitative undersøkelsen.

Basert på dagens forskning av optisk basert sensor, multispektrale droner og Sentinel-2 satellittdata har hver av de sine egne problemer og utfordringer som gjør det uegnet til enkelte tilfeller av PA og VRA. Det er generelt hull i nåværende forskning fra Sentinel-2 data og CropSAT, fordi det er få forskere som har undersøkt om det er mulighet for evaluering av geometrisk - og tematisk nøyaktighet, dersom den romlige oppløsningen av satellittbasert PA kan forbedres enda mer. Denne masteroppgaven skal evaluere dette ved bruke Digifarms høyoppløsningsdata 'DRv3' med 1x1m GSD.

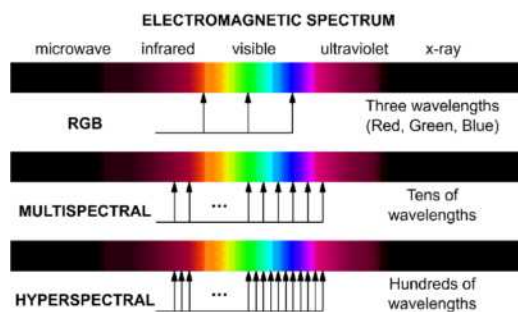
Denne oppgaven fyller hullene i nåværende forskning ved å undersøke påliteligheten og nytteverdi av 1x1m høyoppløsningsdata til sammenlikning av Sentinel-2 data (10x10m GSD) og dronedata for å vurdere hvilke av de har best nøyaktighet i å detektere jord- og avlingsvariasjon basert fra MSAVI2-kart og N-tildelingskart. Er variasjonsdeteksjonen det samme uavhengig av ulik romlig oppløsning? Dersom Digifarms 1x1m GSD data klarer å fange opp GIS-kartvariasjonene like bra eller bedre enn dronemålinger, kan det tyde på høyoppløsningsdata fra Digifarm kan være et godt alternativ for multispektral droner. Dette alternativet kan hjelpe til å løse utfordringer knyttet til skalerbarhet, enkelhet og lønnsomhet. Digifarms teknologi kan derfor være et potensial for å være et mellomledd for gratis tjenesten CropSAT og multispektral droner.

5 Teori

5.1 Multispektrale bilder

Til forskjell for et vanlig RGB-bilde man finner i et vanlig kamera som har 3 bånd (rødt, grønt, blått), kan multispektrale bilde fange opp flere ”bånd” i det elektromagnetiske spektrumet (EM). Dette kan både være innenfor det synlige EM, samt for det usynlige øyet. Dette kan være eksempelvis Infrarødt og mikrobølger. Innenfor Infrarødt kan dette deles opp i red-edge (RE), nærinfrarødt (NIR) og kortbølget infrarødt (SWIR).

Optisk håndholdt sensor PA



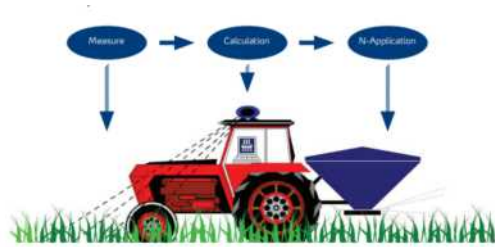
Figur 2: Oversikt mellom RGB og multispektrale bilder (Zabalza, 2015)

5.2 Presisjonslandbruk

Presisjonslandbruk (PA) er en nyere teknikk innen landbruk, der man kombinerer dagens redskaper, eksempelvis traktor, med nyere teknologi. Ved å kombinere ulike sensorer kan man detektere GIS-kartvariasjoner i jord- og avlingstilstand. Ved å detektere disse variasjonene, kan bønder bedre allokere ressurser til riktig sted til riktig tid (Gebbers & Adamchuk, 2010). Dermed kan bønder forbedre beslutninger ved å optimalisere avlingsproduksjon,

samt minimere usikkerheter ved tilpasse seg til disse variasjonene. (Gebbers & Adamchuk, 2010). Det er to mest kjente former for PA: optisk sensor og fjernmålingsbasert PA.

Optisk håndholdt sensor PA Optisk sensor er som oftest håndholdt. Et







Figur 3: Brukermanual fra YARA Norge over hvordan YARA N-sensor fungerer fra side 4 (ASA, 2023)

eksempel på dette er YARA N-sensor som er montert ved traktoren. Disse multispektrale sensoren fanger opp refleksjoner av planten, bl.a. NIR og Rødt. Basert på spesifikke multispektrale bånd, kan man generere vegetasjonsindekser. Kombinert med GNSS-data, kan man evaluere avlingstilstand i sanntid. Deretter delgjødsle fra avlingstilstanden gjennom teknikken variabel tildeling.

Fjernmålingsbasert PA Fjernmåling er en datafangstteknikk, der måleren ikke er i kontakt med måleutstyret. Det er to former for fjernmålingsbasert PA **UAV basert PA** Innenfor UAV finnes det flere kategorier: multirotor, vingemontert, single-rotor, hybrid (Shafiee, 2023). Alle med sine fordelere og ulemper. For UAV-basert PA er det fastmontert multispektrale sensor som fanger opp refleksjon av spesifikke bølgelengder innenfor det elektromagnetiske spektret.

Satellittbasert PA Satellittbaserte PA benytter satelliter med multispektrale sensor, som kan fange opp et større geografisk område enn optisk og

	Pros	Cons	
Multi-Rotor	Accessibility Ease of use VTOL and hover flight Good camera control Can operate in a confined area	Short flight times Small payload capacity	
Fixed-Wing	Long endurance Large area coverage Fast flight speed	Launch and recovery needs a lot of space no VTOL/hover Harder to fly, more training needed Expensive	
Single-Rotor	VTOL and hover flight Long endurance (with gas power) Heavier payload capability	More dangerous Harder to fly, more training needed Expensive	
Fixed-Wing Hybrid	VTOL and long-endurance flight	Not perfect at either hovering or forward flight Still in development	

Figur 4: UAV oversikt fra NOVA kurs 2023 UAV-forelesning side 6 (Shafiee, 2023)

UAV-basert PA. To mest kjente MS satellitter er Landsat og Sentinel-2. Landsat er en satellitt utviklet av det amerikanske selskapet NASA, mens Sentinel-2 er utviklet av flere europeiske land gjennom samarbeidet ESA (European Space Agency) gjennom programmet Copernicus. Ulike satellitter har ulik antall bånd, samt ulik båndbredde på de forskjellige båndene. Dette viser en oversikt over antall bånd, ulik bølgelengdebredde og ulik romlige oppløsninger.

Band	Sentinel-2A MSI			Landsat 8 OLI		
	Spectral region	Wavelength range (nm)	Resolution (m)	Spectral region	Wavelength range (nm)	Resolution (m)
B1				Blue	435–451	30
B2	Blue	458–523	10	Blue	452–512	30
B3	Green peak	543–578	10	Green	533–590	30
B4	Red	650–680	10	Red	636–673	30
B5	Red edge	698–713	20	NIR	851–879	30
B6	Red edge	733–748	20	SWIR1	1566–1651	30
B7	Red edge	773–793	20	SWIR2	2107–2294	30
B8	NIR	785–899	10			
B8A	NIR narrow	855–875	20			
B11	SWIR	1565–1655	20			
B12	SWIR	2100–2280	20			

Figur 5: Oversikt over Landsat kontra Sentinel-2 (Cerasoli mfl., 2018)

5.3 Variabel tildeling

Variabel tildeling (VRA) er en teknikk innen PA, der man ønsker å optimalisere allokering av ressurser basert fra nåværende tilstand i spesifikk posisjon

til hver tid. Dette på bakgrunn av det kan oppstå store tilstandsvariasjoner innenfor samme måleområde. Ved å kartlegge GIS-kartvariasjoner fra optisk sensor og/eller fjernmålingsbaserte PA, kan man benytte denne informasjonen til å danne et VRA-kart for å tildele ressurser. Eksempler på ressurstildeling innenfor landbruk er nitrogengjødsling, kalkgjødsling, plantevernmidler og mer.

La oss si at man har et åker delt opp i 10 seksjoner. Der ønsker man å allokere nitrogengjødsling. Man kan benytte lik N-gjødslingsmengde for alle seksjoner. Men dette resulter at enkelte seksjoner får mer eller mindre gjødsel som det egentlig kreves, fordi alle 10 seksjonene har ulik tilstand og behov. Ved variabel tildeling kan man løse dette ved å ta hensyn til variasjoner og deretter tilpasse gjødslingsmengden i de ulike seksjonene. Dette gjør at man optimaliserer avlingsvekst, samt minsker nitrogentap ut til naturen.

5.4 Romlig oppløsning

Romlig oppløsning (GSD) er avstanden mellom to piksler på bakken (Shafiee, 2023). Den romlige oppløsninger og avstand mellom to piksler er omvendt proporsjonale. Når avstanden mellom to piksler minker, øker den romlige oppløsningen. Og motsatt. I våre øyene ser det ut som at bilde blir klarere og bildekvalitet bedre når den romlige oppløsningene øker. Sensorspesifikasjoner, høyden og vinkelen bilde ble tatt over bakken, påvirker den romlige oppløsning.

Romlig oppløsning for Sentinel-2 Sentinel-2 har 12 multispektrale bånd, hvorav 5 av de båndene har GSD på 10x10m. Deretter 6 bånd med GSD på 20x20m. Og 3 bånd med GSD 60x60m. (Kaplan & Avdan, 2017)

Romlig oppløsning for UAV

Sentinel-2 bands	Central wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation red edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation red edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation red edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Vegetation red edge	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

Figur 6: Dette bildet viser en bedre oversikt på Sentinel-2 bånd og deres respektive GSD. (Kaplan & Avdan, 2017)

Formel for romlig oppløsning GSD av UAV drone etter høyde (Shafiee, 2023):

$$H = \frac{imW \times GSD \times F_R}{S_w \times 100} \quad (1)$$

$$imW = bildebredde[m]$$

$$GSD = GroundSampleDistance[m]$$

$$F_r = brennvidde[mm]$$

$$S_w = sensorbredde[m]$$

Spesifikasjonene for sensorbredde og brennvidde kan man finne i brukermanuall til UAV-drone produsenten.

5.5 Tidsmessig oppløsning

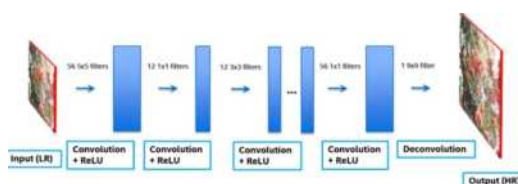
Tidsmessig oppløsning beskriver hvor ofte bilde er tatt. Samt hvor ofte en målesensor realistisk kan måle. Ved dronemålinger har man god tidsmessig

oppløsning. Dette er fordi drone kan måle når som helst på dagen, dersom være vær- og lysforhold tillatter det.

Satellitter har lavere tidsmessig oppløsning enn drone, fordi satellitten tar tid i å gå i bane rundt jorda og kan kun måle i samme område etter noen dager/timer. Også kjent som "revisit time" på engelsk. Omløpstiden er en faktor som begrenser hyppigheten av dataopptak i samme område. I dette tilfelle består Sentinel-2 av to satellitter (Sentinel-2A og Sentinel-2B) som flyr parallelt fra motsatt ender. Ved kombinasjon av Sentinel-2A og Sentinel-2B, har Sentinel-2 en kombinert tidsmessig oppløsning på 5 dager ved ekvator (hvor hver satellitt har en egen tidsmessig oppløsning på 10 dager). Dette vil si at samme område er tatt bilde hver 5. dag ved ekvator (Wolters mfl., 2021).

5.6 Single Image Super Resolution

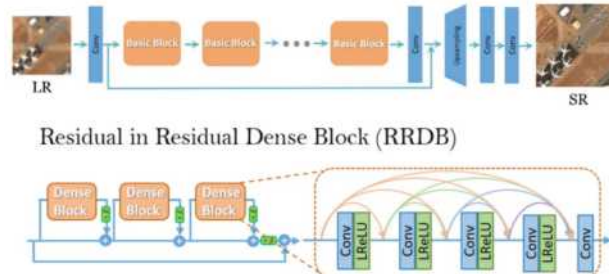
Single Image Super Resolution (SISR) baserer seg på å trene en KI-modell til å generere en høyoppløsningsbilde. Dette kan gjøres ved en dyplæringsmetode kalt "Convolutional Neural Network" (CNN).



Figur 7: Hvordan Digifarms SISR-modell fungerer (Akhtman, 2023)

CNN-metoden har en struktur som likner på et nevralt nett på lik måte som hvordan hjernen vår prosesserer og gjenkjenner informasjon. Modellen bruker den lave bildeoppløsning (LR) som input. Deretter kjøres med kjente treningsdata til å generere en høyoppløsningsbilde (HR) som output. (Salaria,

2023).



Figur 8: Skisse på hvordan CNN-basert Single Image Super-Resolution fungerer (Salaria, 2023)

5.7 Vegetasjonsindekser

Gjennom de ulike bånd fra multispektrale bilder, kan man plukke ut spesifikke bånd til å lage et forhold mellom to eller flere bånd. Fordi forskjellige objekter har ulike refleksans og spektralsignatur i det elektromagnetiske spektrum, kan forholdet danne et GIS-kartvariasjon. Eksempelvis er spektralsignaturen for plante ulikt for vann. Samt friskt plante har ulik spektralsignatur enn død plante.

Videre kan man benytte refleksansen av rødt-bånd og NIR-bånd til å evaluere avlingstilstand. Friske planter reflekter mer NIR relativt til rødt lys. Døende planter reflekterer mer rødt lys relativt til NIR. Dette gjør at man kan evaluere helsegraden av planten for å ta beslutninger på hvordan man skal forvalte på best mulig måte.

NDVI er den mest vanlige vegetasjonsindeksen som ser på forholdet mellom NIR og rødt lys. Forholdet er mellom -1 og 1. Der 0 tyder døende plante og/eller bar jord, der graden av hvor frisk planten er øker når verdien nærmer seg 1. Andre objekter slik som vann og skyer kan vise 0 eller negative verdier.

$$NDVI = \frac{(NIR - r\ddot{o}d)}{(NIR + r\ddot{o}d)} \quad (2)$$

NIR = n erinfrar dt

5.8 MSAVI2

MSAVI2 (Qi mfl., 1994) korrigerer for overmettede verdier man får fra NDVI-indeksen ved   ta hensyn i jordkvaliteten, spesielt områder med bar jord. Ved   ta hensyn til jordkvalitet, kan denne vegetasjonindekser være mer hensiktsmessig, spesielt med områder tidlig i avlingssesongen eller med mye bar jord.

$$MSAVI2 = \frac{2(NIR + 1) - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - r\ddot{o}d)}}{2} \quad (3)$$

NIR = n erinfrar dt

5.9 Lineær regresjon

Lineær regresjon baseres på teorien om korrelasjon. I denne konteksten hvor korrelert y er n r x øker. I denne oppgaven kan det være eksempelvis hvor mye nitrogengjødsel (y)  ker når verdien for vegetasjonsindeksen (x)  ker med x steg. Formelen for lineær regresjon er satt opp slik:

$$y = ax + b \quad (4)$$

y = avhengig variabel

x = uavhengig variabel

a = stigningsgrad

b = skjæringspunkt

Hvor korrelert to grupper er med hver, kan beskrives med korrelasjonskoeffisienten r . Med $r = 1$, vil dette tyde perfekt korrelasjon. Med $r = 0$, er det ingen korrelasjon. Med r i negative verdi, viser negativ korrelasjon.

5.10 Variansanalyse

Variansanalyse er en statistikk test for å sammenlikne om det statistisk forskjell i gjennomsnitt mellom tre eller flere grupper. Variansanalysens hypotesetest er følgende:

- H_0 = Det er ikke signifikant forskjell i gjennomsnitt mellom gruppene.
- H_1 = Det er ikke signifikant forskjell i gjennomsnitt mellom gruppene.

Dersom det er funnet signifikant forskjell på tvers gruppene, kan man videre benytte en post hoc test for å bestemme hvilke av parvise gruppene som er statistisk forskjellig.

Parametrisk variansanalyse

Parametrisk variansanalyse (ANOVA) benyttes dersom følgende antakelse er oppfylt. Målinger fra gruppene er uavhengige hverandre, følger normalfordeling, stort n -utvalg og variansen for de tre gruppene er like.

$$SS_{\text{totalsum}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2 = SS_{\text{mellom}} + SS_{\text{innad}} \quad (5)$$

$$SS_{\text{mellom}} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (6)$$

$$SS_{\text{innad}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (7)$$

Deretter benyttes F-test til grunnlag om man bør forkaste nullhypotesen med en signifikansnivå $\alpha = 0.05$ med antall frihetsgrader df.

$$F = \frac{MS_{\text{mellom}}}{MS_{\text{innad}}} \quad (8)$$

$$MS_{\text{mellom}} = \frac{SS_{\text{mellom}}}{df_{\text{mellom}}} \quad (9)$$

$$MS_{\text{innad}} = \frac{SS_{\text{innad}}}{df_{\text{innad}}} \quad (10)$$

Den kritiske verdien for F-test er gitt ved tabellen for kjikvadratesen χ^2 .

Ikke-parametrisk variansanalyse

Kruskal-Wallis er ikke-parametrisk tilnærming av ANOVA. På samme måte som ANOVA, benyttes denne testen for å undersøke om det er statistikk forskjell mellom gruppene. Denne testen kan benyttes dersom én eller flere antakelser/kriterier for ANOVA ikke er oppfylt. Blant annet når variansene er ulike på tvers av gruppen. I tillegg er den godt egnet der antall utvalg er små og/eller ulik på tvers av gruppen. Denne testen trenger heller ikke å anta at dataene er normalfordelt. Til forskjell for ANOVA tar den utgangspunkt i rangeringssum, og ikke i gjennomsnitt til å beregne om det statistikk forskjell mellom gruppene.

$$R_i = \sum_{j=1}^{n_i} \text{rang}(x_{ij}) \quad (11)$$

Deretter benytte en H-test for å bestemme om det går over en kritisk verdi. Dersom den går over en kritisk verdi ($\alpha = 0.05$ og antall df), forkastes nullhypotesen.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^g \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (12)$$

N = total antall N-utvalg

g = antall grupper

R_i = Rangeringssum av i-gruppe

n_i = antall utvalg i i-gruppe

Dersom det er funnet signifikant forskjell på tvers gruppene, kan man videre benytte post hoc test, slik som Dunns test for å bestemme hvilke av parvisgruppe som signifikant forskjellig. **NB:** ved bruk av post hoc test å sammenlikne for flere parvise grupper, bør man benytte bonferronis korrigerte signifikansnivå. Bonferronis korreksjon har formelen $\alpha^* = \alpha / \text{antall grupper}$.

6 Metode

6.1 Innledning

Slik er metodedelen inndelt:

Steg 1 oppsett og forarbeid

- Testområde
- Verktøy
- Tidsplan
- Kvalitativ undersøkelse
- Etisk bruk av KI

Steg 2 prosedyre av selve arbeidet

- Feltarbeid m/ dronemålinger
- Droneprosessering v/PIX4D-mapper
- Datainnsamling av Sentinel-2
- Datainnsamling av DigiFarm
- Etterprosessering v/ ArcGIS Pro

Steg 3 statistisk analyse til resultat- og diskusjonsgrunnlag

- Datanalyse av geometrisk nøyaktighet
- Datanalyse av tematisk nøyaktighet

For hvert steg begrunnes hvorfor akkurat den metoden er valgt. I tillegg benytte best egnet metode for å adressere oppgavens problemstilling. Dette gjør det enklere å forstå tankeprosessen til grunnlag for diskusjondelen. Deretter diskutere og kritisk vurdere om den valgte metoden var mest hensiktsmessig. Samt utfordringersom ble støtet på for metoden valgt under "Diskusjon".

Forberedet innheting av data fra dronemålinger sommeren 2023, Sentinel-2 data og tilsvarende høyoppløsningsdata fra DigiFarm. Alle data er innhentet

ved samme opptaksdato for sammenlikning på tvers av de tre forskjellige dataene.

Kravet for feltarbeidet var å kjøre dronemålinger ved samme dato og tidspunkt som da Sentinel-2 satellitten fløy over. Dette for å ha samme felles dato å sammenlikne. Deretter kjøre droneflyvninger under skyfri himmel og midt på dagen ved minst skygge. Dette for bedre bildematching i droneprosesseringen og for å minske usikkerheten i geometrisk nøyaktighet. Men dette var ikke alltid mulig på grunn av ulike faktorer. Eksempelvis opptaksdato for Sentinel-2 var en overskyet dag. Eller at man måtte kansellere/forskyve en dronemåling pga skiftende vær og vind. Siden det var også sommerferie tok det også lengre tid generelt mellom målinger. Valg av dato og andre beskrivelser kan man se nærmere i ”feltlogg” under Appendiks.

Metoden er delt opp i 6 deler. De første tre delene er innhenting bearbeiding av data fra:

1. Dronemåling fra DJI Phantom 4 RTK Multispektral og måling av GCP-punkter med RTK/GNSS rover
2. Sentinel-2 data (10x10m) fra Sentinel HUB EO Browser
3. Ferdigstilt høyløsningsdata (1x1m) utført av DigiFarm

De tre siste delene er etterprosessering ved rekkefølge:

1. Ortorektifisering av dronebilder i PIX4D-mapper
2. Legge inn ortorektifiserte dronebilder og to andre datakildene inn i ArcGIS Pro.
3. Sammenlikne alle tre dataene i ArcGIS Pro for vurdering

Ved anbefaling av veileder, hadde Instituttet for plantevitenskap sommer-

kurset ”High-throughput field phenotyping and vegetation mapping” i juni 2023, også kjent som NOVA-kurset”. Dette var en mulighet til å opparbeide teoretisk- og praktisk erfaring. Etter endt kurs var de positive til å samarbeide om temaet og ble opplyst om problemstillingen. Professor Sahameh Shafiee og PhD-student Tomasz Mroz var derfor villige å til bevilge Senter for klimaregulert planteforskning (SKP) ved Vollebekk for å kunne utforske teamet for denne masteroppgaven. Metoden for dronemålinger baserer seg på teorien og forelesninger fra ”NOVA-kurset”.

6.2 Testområde

SKP Vollebekk avd. Friland ble valgt som testområde for denne masteroppgaven. 6615090 N, 598639 Ø (EUREF89 UTM32N)



Figur 9: Testområde SKP Vollebekk avd. Friland (Statens vegvesen, 2023)

Adresse: Vollveien 3, 1433 Ås, Norge²

Området er et forsøksgård som er eid av både NMBU og NIBIO (Norwegian University of Life Sciences (NMBU), 2024). Dette testområdet består av vårhvete (Kufoalor, 2018) . Grunnen til dette testområde ble valgt til feltarbeidet, er fordi tidligere master- og PhD studenter har i flere år benyttet

²<https://www.nmbu.no/forskning/friland>

dette området til sine forskning innen PA og fenotyping. Samt har Instituttet tilgang til nåværende og historiske data over åkeren. Forsøksgården har gode fasiliteter, der multispektrale droner var mulig for utlån. Siden gården var deleid av NMBU, gjorde det enkelt å komme i kontakte med ansatte ved Instituttet. På nettsiden til NMBU beskrev de at forskingsgården ”forvalter ca. 400daa med konvensjonelt areal og ca. 43daa med økologisk areal” (Norwegian University of Life Sciences (NMBU), 2024). Grunnet kort avstand og beliggenhet, hadde man muligheten til å være igjen i feltarbeid lengre og kjøre dronemålinger oftere. Noe som var grunnen til valg av dette testområdet. Etter å deltatt på sommerkurset ”NOVA course 2023: High-throughput field phenotyping and vegetation mapping”, hørte professor Sahameh Shafiee om mastertemaet og var villig til å bevilge SKP Vollebekk avd. Friland til bruk for oppgavens feltarbeid. På grunn av tid- og transportbegrensninger, var SKP Vollebekk avd. Friland eneste forsøksgård som er i fokus for denne oppgaven. Dette er diskutert mer under ”Diskusjon”.

For at alle datakilder (Sentinel-2 data, dronemålinger og Digifarm data) skal være på samme grunnlag, er det benyttet samme grenseområde. Valg av grenseområde er beskrevet nedenfor:

Det ble valgt to grenseområder innenfor forsøksgården. Disse ble kalt polygon A og polygon B. Alle metoder benyttet til denne masteroppgaven er begrenset til disse to grenseområdene.

Arealene til grenseområdene:

Polygon A - 0.24 Ha³ (2.4 daa)

³I feltloggen står det 0.60 Ha, men dette er før klipping. Etter klipping til grensområdet polygon A, så ble arealet endte opp til 2.4 daa. Se under metode ”DJI P4 dronemålinger” for forklaring av arealklipping

Polygon B - 0.93 Ha (9.3 daa)

Tabell 1: Koordinater Polygon A

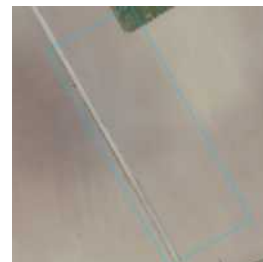
Navn	E	N
A1	598609.000	6615043.000
A2	598634.452	6615000.404
A3	598677.998	6615005.459
A4	598665.546	6615075.055

Tabell 2: Koordinater Polygon B

Polygon B	East	North
B1	598570.000	6614932.000
B2	598646.438	6614797.159
B3	598698.635	6614826.748
B4	598622.197	6614961.589



Figur 10: Polygon A grenseområde v/ Norge i Bilder (Statens vegvesen, 2023)



Figur 11: Polygon B grenseområde v/ Norge i Bilder (Statens vegvesen, 2023)

Grunnen til to grenseområder, er fordi polygon A og polygon B har forskjel-

lige startparametere og forhold. Grunnen til at vinkelen til grenseområdene er slik, er for å holde parallelt med åkeren og bygningene. Dette gjør det også enklere å sette opp den forhåndsplanlagte rute for dronens autopilot.

Polygon A

Polygon A er benyttet som kontrollmåling. Grunnen til dette er følgende: Åkeren i dette område er ofte forsket på og vedlikeholdt nøye av Instituttet. Hver åker er systematisert i forskjellige "blokker", hvor de tester forskjellige gjødslingseksperimenter. Siden hver åkerblokk har samme startparameter, vil de jord- og avlingsvariasjon være relativt homogene. Siden fo-



Figur 12: Polygon A - Dronebilde 24.06.2024

kuset for denne oppgaven er å se om det er signifikant forskjell i romlig heterogenitet basert på romlig oppløsning, vil dette området være noe uegnet i denne kontekst. Likevel er dette en bra testområde for å undersøke geometrisk nøyaktighet på tvers av datakilder, siden det er forutsatt at en måling bør ha en god geometrisk nøyaktighet før man vurderer tematisk nøyaktighet. Polygon A har mange naturlige og menneskelige GCP-punkter, som øker kvaliteten av bildematchingen ved fotogrammetrisk etterprosessering. Dette forhåpentligvis minsker usikkerheten i den geometriske nøyaktigheten. Området har GCP-plater montert rundt åkeren, takflater og veier. Disse er gode bildematchingpunkter.

Til tross for at åkerområdet er homogent, kan polygon A fortsatt være en god kontrollmåling til polygon B. Dette er forutsatt at polygon A og polygon B er dronemålt relativt i samme dag og tidspunkt. Og har samme droneflyveforhold.

Polygon B

Polygon B er mer egnet for å løse problemstillingen om deteksjon av variasjon i jord- og avlingstilstand i ulike romlige oppløsninger. Grenseområdet til denne åkeren er større og har mer variasjon i jord- og avlingstilstand. Dette gjør det mer egnet for å evaluere tematisk nøyaktighet. Siden polygon B har få naturlige og menneskeskapte GCP-punkter, vil dette nok påvirke den geometriske nøyaktigheten. Under "Feltarbeid" kan man se at det har blitt benyttet paller som GCP-punkter. En detaljert beskrivelse og begrunnelse kan man se under "Feltlogg fra feltarbeid 2023" i Appendiks. Grunnen til A er benyttet som kontrollmåling er fordi åkeren er velregulerte og oppdelte med få jord- avlingsvariasjoner til forskningseksperimenter. Området er langt mindre enn polygon B, som kan gjøre det litt vanskeligere å undersøke nyansene i kartvariasjoner.

6.3 Verktøy

UAV - DJI Phantom 4 MS drone

For dronemålinger var DJI Phantom 4 multispektral (DJI P4 MS) valgt for feltarbeidet. Denne dronen ble valgt er fordi den er ofte godt egnet for PA, samt at de hadde denne dronen til disposisjon av Instituttet. Dronen er relativt billig i forhold til andre MS drone, noe som gjør det attraktivt for bønder å investere. Den multispektrale sensoren kan fange bånd⁴ som rødt,

⁴Spesifikasjoner om DJI P4 MS drone kan man se på "P4 Multispectral - User Manual

grønt, blått, Red-edge (RE) og NIR. (DJI, 2020). Man kan planlegge en forhåndsplanlagt rute og forhåndsinnstille andre parametere, der resten av dronen gjør resten av arbeidet ved autopilot. Autopiloten gjør at man begrenser menneskelige feil ved manuell dronekjøring og forhåpentligvis få ut bedre resultat. I tillegg har den en innebygd RTK/GNSS-sensor som korrigerer og minsker den geometriske unøyaktigheten ved dronemåling.

Topcon RTK/GNSS rover

For å måle og verifisere koordinatene til GCP-plater ved polygon A, samt plassere GCP-pallene i riktig koordinat fra forhåndsvalgt GCP-kordinat, er det benyttet Topcon RTK/GNSS rover til dette lånt ut fra Instituttet for geomatikk v/NMBU.

Sentinel-2

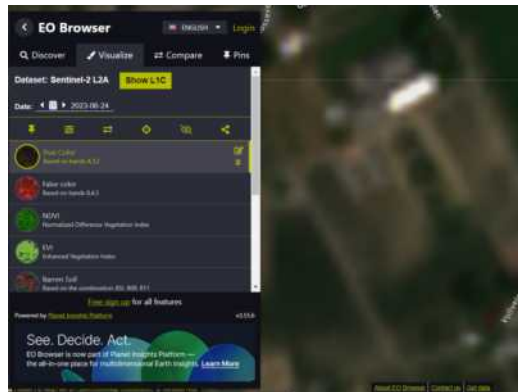
For satellittbilder er Sentinel-2 data benyttet for å hente ut TIFF-bildene. Grunnen til at Sentinel-2 er valgt er fordi den er åpent for alle, lett tilgjengelig og gratis å benytte. Til å være en gratistjeneste har satellitten relativt god romlig oppløsning på 10x10m, spesielt ved bånd B4 (rød) og bånd B8 (NIR). Disse båndene brukes for til å lage en vegetasjonindeksen som er utgangspunktet for den tematiske nøyaktigheten. En annen grunn til at denne satelliten er benyttet for denne metodedelen, er for å ha samme grunnlag som Digifarm og CropSAT sine data. Deres data avleder fra Sentinel-2 data.

Nettsiden brukt for å hente ut satelittdata heter Sentinel HUB EO Browser.⁵

Ved å opprette en studentbruker, kunne man hente ut alle 12 multispektrale bånd bl.a. rødt og NIR. Der hadde nettsiden også mange andre avanserte

v1.4" side 19

⁵<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>



Figur 13: Sentinel HUB EO Browser nettside («Sentinel Hub EO Browser», udatert)

innstillinger tilgjengelig. Har kun hentet ut Sentinel-2 L2A data. L2A er data som er korrigert for atmosfæriske forstyrrelser.

PIX4D-mapper

I denne oppgaven ble PIX4D-mapper brukt. Denne programvare er godt kjent hos geomatikkstudenter som har tatt fotogrammetriemner og som har gratis-lisens. I tillegg benyttet master- og phd-studenter PIX4D-mapper for etterprosessering av dronemålinger med dette programvaren under feltarbeidet mitt. Der jeg fikk råd og hjelp av Instituttet på hvordan man skulle gå frem. PIX4D-mapper er også spesielt nyttig, som har tilpasset for å behandle multispektrale bilder "Agriculture (AG) Multispectral". Disse faktorene gjorde at PIX4D-mapper var mest hensiktsmessig for denne oppgaven.

6.4 Tidsplan

	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Jan	Feb	Mars	Apr	Mai
Feltarbeid	■										
Organisere mapper				■							
Bearbeiding PIX4D/ArcGIS								■			
Masterskriving							■				
Intervju med bønder								■			
Forberedelse til presentasjon											■

6.5 Kvalitativt undersøkelse

Satt opp en kvalitativt undersøkelse for å høre om synspunkter og nåværende utfordringer knyttet til ulike datakilder i forbindelse med PA. Dette ble gjort gjennom en spørreundersøkelse, i form av en skriftlig intervju. Det ble sendt e-poster til bønder i Ås-kommune, Nordre Follo kommune og i Frogn kommune. Undersøkelsen er laget med standardspørsmål relatert til hvilke teknologi bonden benytter for å holde oversikt på tilstand for sine åker, problemstillinger de står ovenfor og hvor stor nytte bøndene kan få ut av en alternativ høyoppløsningdata på 1x1m. Gjennomførte undersøkelsen gjennom e-post på grunn av tidsbegrensinger. For å ta hensyn til etiske grunnlag er spørsmålene og svarene vist med bønder som har ved samtykke takket ja til å delta på en slik spørreundersøkelse på e-post. Samt takket ja til spørsmålene tilsendt. Av personvernmessige grunner er navnet til vedkommende ikke tatt med.

Strukturen er lagt opp med opplysninger fra ulike bønder slik:

- Navn på gården
- Gårdsnavn og adresse

- Type gårdsdrift
- Arealet på gården (i hektar)

Strukturen for spørsmål og svar er strukturert slik:

Q1: Spm. 1”

A1: Svar 1”

Q2: Spm. 2”

A2: Svar 2”

QN: Spm. N”

AN: Svar N”

I mars 2024 ble tiden benyttet til å finne kontaktinformasjon via nettsider. Fra dette kunne enkelt bønder kontaktes via e-post, mens andre var kun mulig å kontaktes på Facebook. Totalt ble det sendt 3 henvendelser gjennom Facebook. Samt 7 henvendelser gjennom e-post. Kun 1 av 10 henvendte fra Facebook, Kjølstad Gård, som responderte den 11.03.2024 på Facebook. De skrev at de drev med korndrift, noe som er relevant til denne oppgaven. Etter samtykke til å delta på en slik skriftlig intervju, ble det sendt ut en standardmail den 24.03.2024 med spørsmål. Se ”Referat av intervju” under Appendiks for detaljer.

Én av spørsmålene (spm 5) som fanger opp nysjerrigheten er viktigheten av romlig oppløsning knyttet til PA. Der kommenterte de på svar 5: ”veldig viktig, det kan være store variabler innenfor små arealer.”. Basert på denne responsen, resonnererte dette godt med problemstillingen om at Sentinel-2 satellittbilder er uegnet for PA grunnet romlig oppløsning på 10x10m gjør det vanskelig å fange opp nyansene i jord- og avlingsvariasjoner. Per nå

sier gården at de hovedsakelig benytter YARA N-sensor, i noen grad satellittbilder og enkelte tilfeller drone. Fra svar 7 er de åpne for å se om høyoppløsningsdata på 1x1m fra KI kan hjelpe til å løse noen av utfordringene de står ovenfor deres gård.

6.6 Etisk bruk av KI (ChatGPT)

I denne oppgaven er Kunstig Intelligens (KI) ved bruk av ChatGPT 4.0, benyttet for rådgivning og veiledning enkelte steder under metode. Dette med fokus på å overholde retningslinjene fastsatt av Undervisningsutvalget ved REALTEK. Retningslinjene ble presentert, fastsatt og godkjent 29.02.2024. For å kvalitetssikre med retningslinjene, er det kun benyttet literatursøk som er relevant for oppgaven, er pålitelig/legitimt, faktasjekket, er sitert av mange fra Google Scholar og som er åpent for alle å lese hele forskingsrapporten. Det vil si at man ikke trenger å registrere seg og betale for å lese hele forskingsrapporten. I tillegg er det gjort det samme for å finne pålitelige kilder filtert for nettsiden Brage NMBU.

Under redegjøres bakgrunn og bruken for bruken av KI i detaljer. Under diskusjon redegjøres fordeler og svakheter ved bruk av KI fra ChatGPT.

Under litteraturstudie ChatGPT 4 ble benyttet for å finne relevante og pålitelige kilder for å se om andre forskere hadde liknende problemstillinger og finne svakheter/hull rundt deres forskning. Siden problemstillingen er spesifikk og omfatte tre typer ulike datakilder (Sentinel-2, dronebilder og høyoppløsningsdata fra dyplæring), er ChatGPT brukt for å finne kilder rundt dette temaet. Dette gjorde det også enklere for å filtrere for relevante kilder. Dette kan eksempelvis om å spørre ChatGPT om å finne nåværende forskning rundt høyoppløsningsdata (SISR) utledet av Sentinel-2 data til bruk

for PA i Google Scholar og ResearchGate. Deretter kritisk vurdere kilden.

Under metode: Siden det var enkelte hull i data for alle tre datakilder, er ChatGPT også brukt for å få spesifikk råd på hvordan man skal gå frem utifra nåværende/begrensede data den ble opplyst. For å se om ChatGPT ble benyttet i denne oppgaven for rådgivning, er det lagt inn fotnote og/eller sitert av ChatGPT. Følger samme retningslinjene utgitt av APA Style Institutet for sitering av ChatGPT. Link her: <https://apastyle.apa.org/blog/how-to-cite-chatgpt>. Eksempelvis er hvilke statistisk analyse under tematisk- og geometrisk nøyaktighet er mest hensiktsmessig å benytte ut i fra det begrensede data man har. Deretter kritisk vurdere og lese litt på den statistiske metoden anbefalt for å vurdere om den er mest pålitelig. Eksempelvis anbefalte ChatGPT bruk av den alternative Kruskal-Wallis test framfor vanlig enveis-ANOVA (variansanalyse), fordi nåværende resultatdata fra tematisk nøyaktighet ikke følger kriteriene/antakelser for bruk av ANOVA.

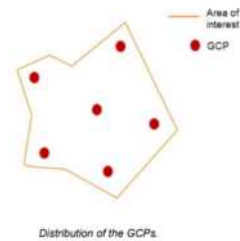
6.7 Feltarbeid

6.7.1 Forarbeid

Utførte feltarbeidet ved SKP Vollebekk avd. Friland sommeren 2023. Det var viktig å kunne utføre feltarbeidet i forveien før masterskrivingen for å kunne innhete nyeste data for analyse. Med veiledning og opplæring av Tomasz Mroz ved dronebruk, opparbeidet meg til å skaffe A1/A3 dronesertifikat utsendt av Luftfartstilsynet. Dette er for å kunne utføre selvstendig forskningsarbeid resten av året. I dronemålinger ble det kartlagt først polygon A, deretter polygon B rett etter. Eller motsatt. Avhengig av forskjellig forhold. Siden det var flere PhD-studenter som måtte benytte samme drone, det var flere droner i luften eller de måtte kartlegge samme område, måtte man belage på

en del venting.

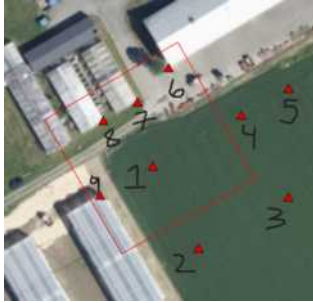
Etter at grenseområder for feltarbeidet ble valgt, var det på tide å kartlegge hvilke GCP-punkter som skulle brukes for referanse. Dette er fordi GCP-punkter hjelper med å forbedre geometrisk nøyaktigheten når man skal sammensette dronebilder ved bildematching. Etter forelesningsnotat fra NOVA-kurset, var det anbefalt å ha minst 5 GCP-punkter spredt rundt grenseområdet. Dette kan man se i figur 14. (Shafiee, 2023). Derfor er valg og plassering av GCP-punkter tatt utgangspunkt i dette for polygon A og B.



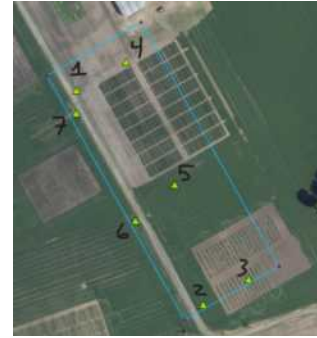
Figur 14: Anbefalt plassering av GCP-punkter (Shafiee, 2023)

Innenfor polygon A ble takhjørner og GCP-plater benyttet som GCP-referanse. GCP pkt. 1, 6, 7, 8 og 9 ligger innenfor grenseområdet. Grunnen til at resterende GCP-punkter ikke ligger innenfor polygon A området, er fordi man ikke kunne importere shp-filen av polygon A inn i dronen. Derfor måtte man manuelt lage området der med anbefalt større grenseområde som et buffer. Og som senere kunne klippes/avgrenses i ArcGIS Pro. For å unngå skjevfordeling av GCP-punkter i den større grenseområdet fra dronen, er GCP pkt. 2, 3, 4 og 5 tatt med.

For polygon B var det få kunstige GCP-plater fastmontert i dette området. I tillegg var område i en slak oppoverbakke. Dette gjør det enda mer nødvendig å benytte GCP-punkter. Siden droneflyhøyden er konstant, vil høydeforskjellene



Figur 15: GCP-punkter polygon A



Figur 16: GCP-punkter polygon B

rundt danne feil i skalering og orientering under bildematchingen og vil påvirke den geometriske nøyaktigheten. (Shafiee, 2023) Derfor var det viktig å finne GCP-punkter spredt rundt området. Samt finne GCP-punkter ved toppen og bunnen av grenseområdet. Dette er beskrevet mer nedenfor.

6.7.2 GCP-punkter

Benyttet REALTEK sin Topcon RTK/GNSS-rover for polygon A og B. Det ble valgt totalt 9 GCP-punkter ved polygon A og 6 GCP-punkter ved polygon B. Se figur 17 til 32 under.

Siden det var flere masterstudenter som måtte benytte roveren under denne perioden måtte RTK/GNSS-målingene ventes til 28.06.2024. Det mest ideelle datoen ville ha vært 23.06.2024 som var ved første dronemåling. Det har vært mye snakk om hvordan man skal gå frem med å lage GCP-punkt ved polygon B. En tanke var å sette opp presenning av størrelse 10x10m eller 20x20m som kan synes godt på dronebilde. Siden presenningen er lett og fleksibel, var det stor fare for at den kunne flytte på seg på grunn av vind eller andre menneskelige forstyrrelser. Siden bonden driver også med gjødsling og høsting rundt dette området, vil presenningen være til hinder. En annen måte var

å lage et omriss ved å kutte ned deler av åker, deretter male det. Men det er en sannsynlighet for at det ikke synes godt i dronebildet, samt var det få mengder med maling til disposisjon. Likevel hadde bonden en del paller som kunne lånes ut. Trepaller var et alternativ, siden det er stort nok til at det kunne synes i dronebilder. Den er også tung nok til at den ikke beveger på seg. Derfor var dette foretrukket valg av GCP-punkt. Tanken var å lage et kryss i midten med spraymaling. Siden det var vanskelig å se spraymalingen i en høyde på 50 meter etter å ha kjørt en testmåling, ble pallehjørner (hvor de hvite stolper står oppreist) benyttet som GCP-kordinater. Disse GCP-punktene ble fastlagt etter å ha valgt foretrukket posisjon i forarbeidet basert på forelesningnotat på anbefalt plassering av GCP-punkter. (Shafiee, 2023). Deretter plassere de i riktig posisjon ved hjelp av RTK/GNSS-rover. I tillegg til pallene, var to kumlokker benyttet som GCP-referanse (GCP pkt. 6 og pkt. 7). Disse kumlokkene var godt synlig i Norgebilder og i dronemålinger.



Figur 17:
GCPA
pkt.1



Figur 18:
GCPA
pkt.2



Figur 19:
GCPA
pkt.3



Figur 20:
GCPA
pkt.4



Figur 21:
GCPA
pkt.5



Figur 22:
GCPA
pkt.6



Figur 23:
GCPA
pkt.7



Figur 24:
GCPA
pkt.8



Figur 25:
GCPA
pkt.9



Figur 26:
GCPB pkt.1



Figur 27:
GCPB pkt.2



Figur 28:
GCPB pkt.3



Figur 29:
GCPB pkt.4



Figur 30:
GCPB pkt.5



Figur 31:
GCPB pkt.6



Figur 32:
GCPB pkt.7

NB: Se feltlogg 28.06.2023 for nærmere beskrivelse under ”Appendiks”.

6.7.3 DJI P4 dronemålinger

Kravet til dronemålinger var at det skulle være mulig for dronen å kartlegge på én batterioperasjon med et batterinivå som ikke går under 30% av sikkerhetsmessige årsaker. Dette gjorde at arealpotensialet ble begrenset. Å la dronen fly, lande for å skifte batteri deretter fly igjen er et tidsfordriv i seg selv. Dette styrker problemstillingen rundt lønnsomhet og enkelhet ved drone innen PA. Hovedtanken var å fly midt på dagen, med minst skygge. Deretter kjøre polygon A og polygon B i separate målinger, men kjøre dronemåling for polygon B rett etter måling av polygon A.

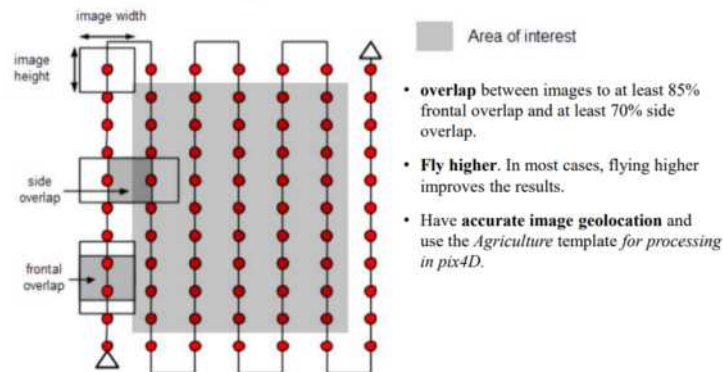
Etter råd fra veilederne kom vi fram til en passelig flyhøyde på 50 meter over bakken med flyhastighet på 2.3 m/s for polygon A og 1.8 m/s for polygon B respektivt. Flyhastigheten ble valgt etter anbefaling av autopiloten. Denne flyhøyden og hastigheten gjorde det mulig å dronemåle med én batterioperasjon for polygon A og polygon B hver for seg.

Under forelesningsnotatet fra NOVA-kurset var også 50 høydemeter ideell høyde. Dette er fordi dersom man ønsker å se på GIS-kartvariasjoner er det ikke nødvendig å fly nærmere enn 20m og høyere enn 120m. Siden avlingsseongen begynte ved første dronemåling, var det anbefalt å fly mellom 20m og 60m. (Shafiee, 2023) Derfor ble 50 høydemeter benyttet under hele feltarbeidet. Denne flyhøyden er høyt nok til å kartlegge et større område innenfor én batterimåling, samt lavt nok til å se GIS-kartvariasjoner tidlig i sesongen. I tillegg var det lavt nok til å se dronen hele veien, om noe skulle skje. Og man måtte kjøre dronen manuelt.

DJI P4 hadde en Ipad festet ved kontrollspaken, hvor man kunne planlegge ruten på forhånd og endre på innstillinger. Ved forberedelse av denne forhåndsplanlagte ruten i Ipaden, ble det funnet at var ikke mulig å importere shp-fil av grenseområde inn i DJI Phantom 4 dronen. Dette fordi man trengte abonnement fra leverandøren, noe Instituttet ikke hadde. Alternativt var det mulig å fastsette grenseområdene manuelt i Ipad-en. Den enkleste løsningen var derfor å lage grenseområdene manuelt i appen og sørget for at grenseområdene var større enn planlagt grenseområde som buffer, slik at man sørger for at man fikk med seg alt. Dette er grunnen til at i resultatet vist for polygon A er 0.24 Ha (2.4 daa), mens i feltloggen vises 0.6 Ha (6.0 daa). For mer detaljert beskrivelse av feltarbeidet, finner man dette i "Feltlogg fra feltarbeid 2023" under Appendiks. For droneflyvning var det anbefalt å ha bildeoverlap med 85% frontoverlap og 70 % sideoverlap i forbindelse med PA(Shafiee, 2023)

Det ble utført til sammen 10 dronemålinger i perioden juni 2023 til september 2023. De fleste målinger ble utført tidligere i sesongen, hvor det var fortsatt en del bar jord tidlig i sesongen. På grunn av det ble kjørt dronemålinger tidlig i sesongen, var MSAVI2-indeksen (Qi mfl., 1994) mest hensiktsmessig

Flat terrain with agriculture fields



Figur 33: Anbefalt bildeoverlap for dronemåling (Shafiee, 2023)

å benytte for resultatgrunnlag . På grunn av ulike faktorer er følgende dato for dronemålinger blitt gjennomført:

23.06.2023, 24.06.2023, 26.06.2023, 28.06.2023, 19.07.2023, 20.07.2023, 21.07.2023, 08.23.2023, 09.04.2023, 24.09.2023

Som nevnt var tanken å kjøre dronemålinger ved opptaksdato som da Sentinel-2 satelliten fløy over området. Men på grunn av ulike vær-og vindforhold var det ikke alltid mulig. Eksempelvis var det enkelte dager med skyfritt vær til tross for at det ikke var under samme opptaksdato som Sentinel-2, så det ble mye vurderinger som måtte gjøres. Dette kan man se nærmere på under ”feltloggen” i Appendiks.

Av disse er det kun følgende datoer som har akkurat samme opptaksdato som Sentinel-2 satellittdata:

24.06.2023, 26.06.2023, 21.07.2023, 23.08.2023, 09.04.2023, 24.09.2023

Denne delen viser bilder fra feltarbeidet etter dato. For oversikt er bildeoppsettet lagt opp slik: (a) polygon A åker (b) polygon B åker (c) været v/ polygon B (d) Utviklingsstadium av korn v/ polygon B



(a) ...



(b) ...



(c) ...



(d) ...

Figur 34: 24.06.2023

OBS: Grunnen til at bilder av været ved polygon A, utviklingsstadium av korn ved polygon A og bilder under droneflyvning ikke er tatt med inn i disse figurene, er fordi det vil ta alt for mye plass i denne delen. Oppsettet nevnt ovenfor gjør at man får bedre bildeoversikt. For helhetlig oversikt kan man se på hva som er beskrevet under ”Feltlogg fra feltarbeid 2023” på Appendiks. Merk også at bilde er automatisk snudd sidelengs av L^AT_EX, slik at man får bedre plass i dokumentene.

NB: På grunn av mange bilde fra feltarbeidet, er det kun vist bilder fra feltarbeid opptaksdato som Sentinel-2 i denne delen. Se figur 34 til 39

6.7.4 Radiometrisk kalibrering

For hver dronemålinger ble det gjort radiometrisk kalibrering før flyvning og etter flyvning. Under feltarbeid var to reflektansplater benyttet til kalibrering: Sphereoptics og Micasense. Grunnen til å kjøre radiometrisk kalibrering for hver droneflyvning, er å sikre at dronen leser av riktig reflektansverdi mot et referansepunkt (kaliberingsplate) med kjente verdier for hvert bånd. Dette



(a) ...



(b) ...



(c) ...

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(d) ...

Figur 35: 26.06.2023



(a) ...



(b) ...



(c) ...



(d) ...

Figur 36: 21.07.2023



(a) ...



(c) ...



(b) ...



(d) ...

Figur 37: 23.08.2023



(a) ...



(c) ...



(b) ...



(d) ...

Figur 38: 04.09.2023



(a) ...



(b) ...



(c) ...



(d) ...

Figur 39: 24.09.2023

for at alle dronemålinger har samme grundlag i reflektansverdi. Siden vær- og lysforhold endrer seg konstant, kan måling av kalibreringsplaten hjelpe med å tilpasse for dette ved droneprosessering. Enkelte dager var den ene eller andre platen benyttet. Dette avhenget av hvem som benyttet kalibreringsplaten den dagen, siden det var flere master-og phd-studenter som kjørte dronemålinger i samme område. I "feltloggen" under Appendiks kan man se hvilke kalibreringsplate ble benyttet under hver måling.



Figur 40: Spherioptics (store platen)



Figur 41: Micasense (lille platen)

Verdier er gitt fra Professor Sahameh Shafiee og Phd-student Tomasz Mroz fra sommerkurset "NOVA course 2023: High-throughput field phenotyping and vegetation mapping". Se "Appendiks" for mer oversikt.

Tabell 3: Verdier for radiometrisk kalibrering

Navn	Blå	Grønn	Rød	Red-Edge (RE)	Nærinfrarød (NIR)
Sphreoptics	0.54329	0.54389	0.54260	0.54092	0.53788
Micasense	0.58200	0.59210	0.65700	0.58980	0.55890



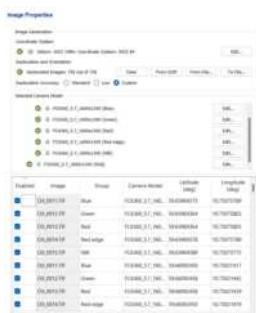
Figur 42: Radiometrisk kalibrering av DJI drone med Micasense

6.8 Droneprosessering v/ Pix4D Mapper

Hentet ut rådataene fra dronemålinger fra microSD-kortet. Deretter lastet opp på datamaskinen. Der fikk man ut ferdiglaget RGB-bilde, samt TIFF-båndene blått, grønt, rødt, RE og NIR. Leste av DJI-manualen som viste seg at alle filnavn som ender med tallet 0 er "RGB", 1 er "blått", 2 er "grønt", 3 er "rødt", 4 er "RE" og 5 er "NIR" (DJI, 2020).

Benyttet PIX4D-Mapper å prosessere alle disse TIFF-båndene fra dronemålinger. Bildene under viser en eksempel på framgangsmåte for import av polygon B området. Det samme prosedyre for import og prosessering gjelder også for polygon A. Det ble også generert rapport for den geometriske nøyaktigheten, samt kvaliteten på kalibreringen under "quality report". Disse verdiene er

grunnlag for analysedelen for geometrisk nøyaktighet. Siden det har blitt gjort 10 dronemålinger for polygon A og B separat, så er det til sammen 20 forskjellige rapporter. Siden hver enkel "quality report" har 15 sider, så ville det ha vært 300 sider totalt av "quality report" om det skulle inkluderes. Derfor var det ikke hensiktsmessig å legge disse under Appendiks. Dette er grunnen til hvorfor disse rapportene ikke tatt med. Likevel er "absolute geolocation error" benyttet som oversikt under resultater. Grunnen for hvorfor "absolute geolocation error" er vist og ikke "GCP geolocation error", var å se på den helhetlige totalavviket i X, Y og Z for det grenseområdet.



Figur 43: Import av data

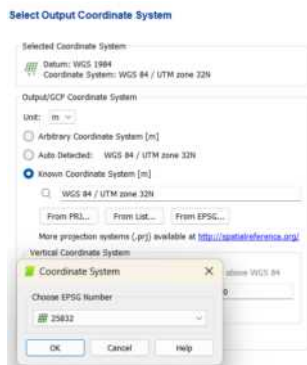


Figur 44: Input koordinatsystem

Ønsket eksport av koordinatsystem til EUREF89 Sone 32N (EPSG: 25832). Benyttet høydesystemet "EGM 96 Geoid" siden NN2000 ikke var tilgjengelig som et valg i PIX4D-mapper. Benyttet "AG Multispectral" siden dette var spesifikk egnet for å behandle store data fra forskjellige bånd til PA.

Det var tre fotogrammetriske prosesser som måtte gjøres:

1. Initial Processing
2. Point Cloud and Mesh
3. DSM, Orthomosaic and Index

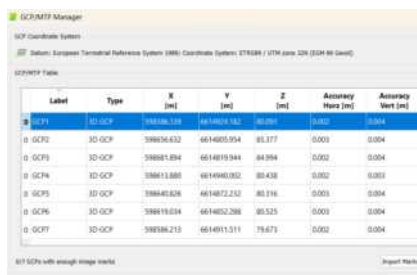


Figur 45: Output koordinatsystem

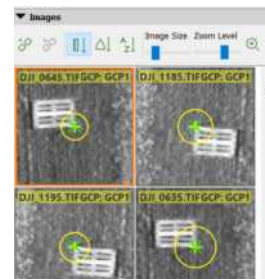


Figur 46: Agriculture (AG) multispectral processing

La til GCP-punktene under feltet "Initial Processing". Deretter kunne man korrigerer for GCP-punktene manuelt ved "GCP/GTP-Manager" for alle GCP-punktene. Dette for å forhåpentligvis minimere feil i stedsfesting for oppnå god geometrisk nøyaktighet i resultatet.



Figur 47: Import av GCP-punkter



Figur 48: Eksempel manuell korrigering av GCP-punkt

Neste steg var "Point cloud and Mesh". Der ble det benyttet høyest punktetthet, men dette også resulterte i lengre prosesseringstid.

Siste steg var "DSM, Orthomosaic and Index". Dette steget måtte man først



Figur 49: Steg for steg droneprosessering

korrigere radiometrisk. Bildefilene tatt av selve dronen før måling er brukt som referanse. Reflektansverdiene man la inn avhengte av hvilke kalibreringsplate man benyttet den dronemålingen. Siden Micasense hadde en innebygd QR-kode, klarte PIX4D-Mapper automatisk å sette inn verdiene. For Spheroptics måtte man manuelt legge inn verdiene. Se tabell 3.



Figur 50: Oversikt kalibrering



Figur 51: Eksempel kalibrering av bånd rød

Etter at alt CGP-og radiometriske korreksjoner ble gjort kunne man endelig få ut resultater. Kjørte prosessen for alle datoer fra polygon A og B. Dette kan man se videre under ”resultater”.

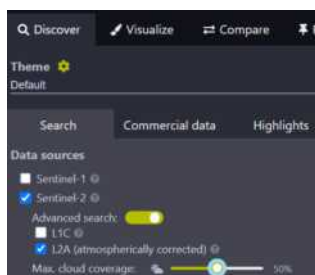
6.9 Sentinel-2

Benyttet samme opprinnelig rådata som CropSAT og DigiFarm henter fra, nemlig Sentinel-2 satellittdata. Dette for å ha samme grunnlag med Sentinel-

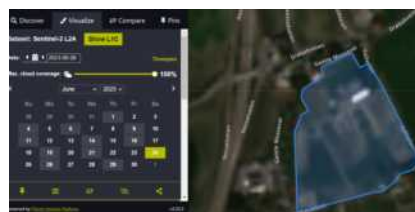
2 til sammenlikning. Siden enkelte dato fra Sentinel-2 var overskyet i området, som gjøre dataet uegnet. Fra Sentinel HUB EO nettsiden ble følgende Sentinel-2 data hentet ut: 14.06.2023, 24.06.2023, 26.06.2023, 29.06.2023, 21.07.2023, 29.07.2023, 23.08.2023, 04.09.2023 og 24.09.2023.

Valgte L2A (Atmospherically corrected Sentinel-2) og deretter laget en omkrets rundt gården. Tanken er å avgrense område til polygon A og B ved bruk av "Clip" funksjonen i etterprosesseringen i ArcGIS Pro.

Siden oppgaven fokuserte på å hente ut bånd som benyttes til å danne vegetasjonsindeksen MSAVI2 er følgende bånd tatt med: B2 (blå), B3 (grønn), B4 (rød) for å danne RGB-kompositt. Samt B4 (rød) og B8 (NIR) for å danne MSAVI2. Disse ble utgitt som TIF-filer.



Figur 52: Sentinel EO HUB («Sentinel Hub EO Browser», udatert)



Figur 53: Eksport av TIFF-fil («Sentinel Hub EO Browser», udatert)

Disse TIF-filene vil bli brukt som datagrunnlag for etterprosesseringen i ArcGIS Pro.

6.10 DigiFarm

Høsten 2022 kom vi i kontakt med DigiFarm fra én av veilederne. Dette var en perfekt mulig å samarbeide med de, siden de spesialisere seg på dyplærings-

metoder til tjenestebruk for presisjonslandbruk.⁶ De meldte interesse til masteroppgaven høsten 2022, der de ønsket videre se hvordan dataene deres fra 10x10m Sentinel-2 data til genererte 1x1m kan videre anvendes. (Digi-Farm, 2024). Samt hvor godt det måler seg mot andre datakilder, noe som resonnerer med problemstillingen.

I våren 2024 ble det sendt ut forespørsel om de kunne hente ut 1x1m data i samsvar med dronemålingsdato. Avgrenset til grenseområde polygon A og Polygon B. 13.11.2023, ble første versjon kalt "DRv2" mottatt via e-post. 11.12.2023 ble den nyere versjonen "DRv3" også mottatt.

DRv2 Imagery 6 elementer

Navn	Sist endret	Filerstørrelse
2023-06-14_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-06-24_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-07-29_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-08-23_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-09-04_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-09-24_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB

DRv3 Imagery 6 elementer

Navn	Sist endret	Filerstørrelse
2023-06-14_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-06-24_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-07-29_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-08-23_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-09-04_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB
2023-09-24_MSI.tif	12. nov. 2023	4 MB

Figur 54: DRv2 rådata

Figur 55: DRv3 rådata

Ut i fra data uthentet virker det som at de tok med hele gården. Men dette kunne videre klippes til kun grenseområdene til polygonene A og B ved etterprosessering i ArcGIS.

Grunnen til dette er fordi "DRv3" har korrigert for radiometriske unøyaktigheter, som utgjorde bedre resultat. Dette redegjort fra litteraturstudiet. Under har én av medarbeiderne, Leonardo Ibarra, sammenliknet forskjell i kvalitet mellom "DRv2" og "DRv3" sendt via e-post. I bildet kan man se forskjellen mellom begge data, hvor DRv3 har en visuelt forbedring. For denne oppgaven var den nyeste versjonen "DRv3" benyttet til sammenlikning og analyse.

⁶<https://digifarm.io/products/dr-imagery>



Figur 56: Digifarm eksempel DRv2 mot DRv3 fra e-post den 11.12.2023

6.11 Etterprosessering v/ ArcGIS Pro

Sentinel-2 data (10x10m), dronebilder og data fra Digifarm (1x1m) er etterprosessert og videre analysert i ArcGIS Pro som danner grunnlaget for resultatet og diskusjon. I denne oppgaven er koordinatsystemet EUREF89 Sone 32 (EPSG: 25832) benyttet i ArcGIS. Resultat av RGB-bilder og MSAVI2-bilder er avgrenset til grenseområdene og er lagt under Appendiks.

r

6.11.1 Dronebilder

Startet først med å importere grenseområdene for polygon A og polygon B. La inn GCP-kordinatene fra RTK/GNSS-rover inn i et excelark, deretter konverterte til CSV-fil. Importerte CSV-filen av GCP-punktene for polygon A og B for å lage polygonene i ArcGIS Pro. Deretter trykket på "Display XY data". Fra punktkoordinater kunne man generere punktlinjer ved "Points to Line" og til slutt polygon i shapefile-format. Importerte alle prosesserte

dronedata inn i ArcGIS Pro. Benyttet ”Composite Bands” fra ”Geoprocessing” for å sette sammen rød, grønn og blå bånd til RGB. Deretter benyttet ”Clip Raster” for å avgrense områdene til kun polygon A og B. Huket av ”Use Input Features for Clipping Geometry”, for å bruke shapefile-polygonene til A og B som input for å klippe. Dette ble gjort for alle datakilder, slik at man har felles grenseområde for analyse.

Hentet inn rød og NIR bånd for å lage MSAVI2. Benyttet ”Raster Calculator” med følgende formel:

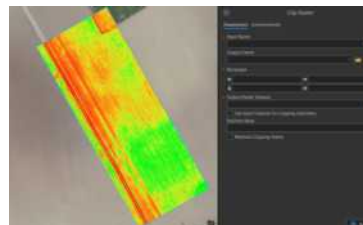
$$MSAVI2 = \frac{2(NIR + 1) - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - rød)}}{2} \quad (13)$$

NIR = nærinfrarødt

Deretter fulgte samme prosedyre som RGB for å avgrense området til polygon A og B separat ved bruk av ”Clip Raster”.



Figur 57: Eksempel drone RGB-bilde avgrenset til polygon B



Figur 58: Eksempel drone MSAVI-bilde avgrenset til polygon B

6.11.2 Sentinel-2 data

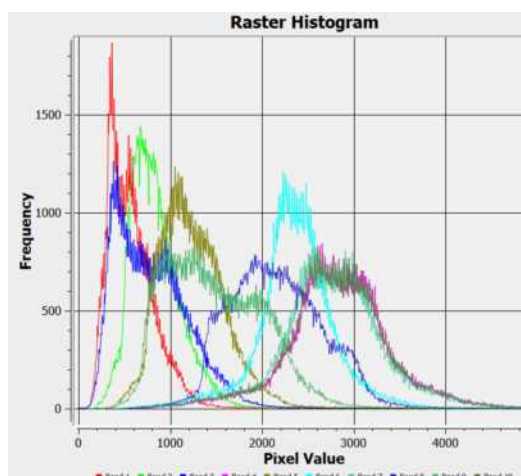
For Sentinel-2 var det ikke nødvendig å kombinere rød, grønn og blått til ”Composite bands”, fordi den fulgte med RGB-bilde kalt ”Sentinel-2 L2A

true color”. Her var det kun nødvendig å avgrense til grenseområdene ved ”Clip Raster”. Fulgte samme prosedyre som dronedata: benyttet ”Raster Calculator” med samme formel ovennevnt. Deretter avgrenset området med ”Clip Raster”.

6.11.3 DRv3 data

Ved samme begrunnelse som Sentinel-2 data var det heller ikke nødvendig å kombinere båndene til RGB, fordi RGB-bilde er allerede medfulgt. Når det gjelder dannelse av MSAVI2 var det litt vanskeligere. Dette er fordi når TIFF-filen av DRv3 ble satt inn, hadde den kun 10 bånd. Det stod heller ikke spesifikt hva de båndene var. Dette gjorde det vanskelig å vite hvilke av båndene var rød bånd og NIR. Sendte e-post til Digifarm rundt dette problemet, men per dags dato har det ikke kommet svar ennå. Ved råd av veileder, anbefalte han å kjøre en visuell- og spektralinspeksjon for å bestemme hvilke bånd er hva. Først se på spektralsignaturen ved å lese av histogrammene til alle båndene for å se om det er noe mønster. Siden det ikke var mulig å lese av alle histogrammene samtidig i ArcGIS Pro, anbefalte veileder å benytte QGIS til dette. Siden bånd 3 (rød), bånd 2 (grønn), bånd 1 (blå) i DRv3 var benyttet for å danne RGB-bilde, så kan man utlede at bånd 3 er mest sannsynlig rødt. Dette er til forskjell for Sentinel-2 der rødt er bånd 4 (L2A B04). Dette vil si at Digifarm har ekskludert ”Costal Aerosol” som bånd 1 for sine data. Nå gjaldt det å finne ut hvilke båndnr. tilhørte NIR. Dette var litt vanskelig å vite siden bånd 6, 7, 8 reflektere godt i den røde kanalen i ArcGIS Pro. Så enten må én av de være NIR og resten Red-Edge.

Åpnet DRv3 TIFF-filen for måling 24.06.2023 inn i QGIS, deretter klikket høyreklikket på ”properties” → *histogram*



Figur 59: Raster histogram av DRv3 i QGIS versjon 3.22.16

Etter teorien om NIR og Red-Edge (RE), kan man tenke seg at reflektansverdien for NIR er generelt høyere enn Red-edge. Dette er fordi Red-Edge ligger mellom rød og NIR, og derfor har mer generelt nedtonet reflektans kontra reflektans NIR. Dette vil resulter i høyere verdi i "pixel value". Dersom man leser av fra en spektralsignaturperspektiv kan man se at gjennomsnittsverdien i "pixel values" er mer til høyre enn RE. Siden bånd 7 er lengre i til høyre i x-aksen enn bånd 6 og bånd 8. Red-Edge vil også se litt mørkere ut enn NIR ved visuell inspeksjon.



(a) DRv3 Bånd 6

(b) DRv3 Bånd 7

(c) DRv3 Bånd 8

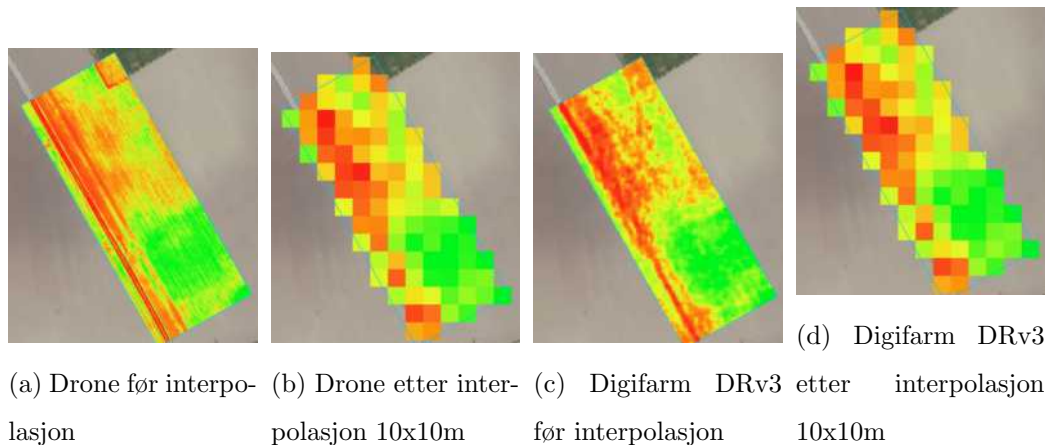
Figur 60: Digifarms bånd 6, 7 sammenlikning for å finne ut NIR-bånd

Ved gjennomføring av visuell inspeksjon, kunne man se at det er stor forskjell mellom bånd 7 og 8. Dersom man setter bånd 7 i den røde kanalen, så ser man at det reflekteres sterkere enn dersom bånd 8. Det var noe vanskeligere å skille mellom bånd 7 og 6 visuelt. Men dersom man også tar hensyn til spektralsignaturen så ser man at grafen for bånd 7 ligger generelt høyere i pikselverdi enn bånd 8. Dersom man evaluerer spektralsignaturen og visuell inspeksjon, er det god sannsynlighet for at det er bånd 7 som er NIR-båndet i DRv3 data. Ved denne begrunnelsen er **bånd 7** benyttet som NIR og **bånd 3** som rødt i 'Raster Calculator'.

6.12 Interpolasjon

Det har blitt laget MSAVI2-data for dronemålinger, Sentinel-2 og Digifarms DRv3 data. Spørsmålene nå er hvordan man skal gå frem til å sammenlikne tematisk nøyaktighet på tvers av datasettene når romlige oppløsning er ulike. En rettferdig måte å evaluere om det er forskjell i jord- og avlingsvariasjon, er at alle dataene bør ha samme grunnlag når det gjelder romlig oppløsning. En måte å gjøre dette på er ved interpolasjon også kjent som resampling. Nå spør det om det er mer hensiktsmessig om å resampling til 1x1m eller 10x10m for alle data. Etter nøye vurdering, ble 10x10m valgt som metode for felles romlig oppløsning. Grunnen til dette er fordi alle dronemålinger og DRv3 kan interpoleres fra deres romlige oppløsning til 10x10m. Dersom man skulle ha benyttet 1x1m som grunn, vil det si at Sentinel-2, med få data, måtte nedskaleres fra 10x10m til 1x1m. Dette kan resultere i ukorrekte MSAVI2-verdier, samt mindre til å stole på. Siden man har mer data fra 1x1m er det enklere å interpolere til 10x10m, enn om man skal ha gått fra 10x10m til 1x1m. Derfor var den mest rettferdige beslutningen var å benytte var 10x10m som felles romlig oppløsning for Sentinel-2, dronemålinger og Digifarms DRv3

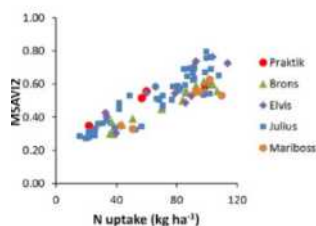
data. Denne romlige oppløsningen er grunnlaget for statistikkdelen, resultat og diskusjon.



Figur 61: Eksempel interpolasjon opptaksdato 24.06.2023

6.13 Nitrogenopptak

Fra litteraturstudiet hadde svenske forskere funnet høy lineær korrelasjon mellom MSAVI2 og N-opptak på $r = 0.77$ (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). Estimerte N-gjødslingsmengde utledet fra



Figur 62: Korrelasjon av MSAVI2 og N-opptak av alle varianter av høsthvete(Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016)

MSAVI2-verdier ved denne antakelsen. Dette på samme metode som CropSAT (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). Grunnen

for å lage dette er for å vite hvilke av datakilder gir mest bærekraftige og økonomiske besparing på nitrogen gjødsel. Dette med bakgrunn av at overgjødsling kan føre til klimagassutslipp, i form av lystgass ved nitrogen tap til naturen (Korsæth mfl., 2019). Dette kan også være nyttig økonomisk for bønder som ønsker å bespare på nitrogen gjødsling, samt drive optimal allokering av ressurser. Dette er et steg for å komme nærmere Norges delmål 2.4 og FN-bærekraftsmål nr.2 (Nørgaard mfl., 2018)

Benyttet teorien om lineær regresjon:

$$y = ax + b \quad (14)$$

Deretter bestemte for "a" og "b". Benyttet verdiene fra YARAs statistikk og anbefaling over N-gjødslingsmengde av høstvetete fra. Fra presentasjonen "Hvordan høste korn i 2022" fant de for 2020 ⁷ en minimum og maksimumtildeling på hhv. 261 kg N/daa og 1051 kg N/daa med gjennomsnitt på 469 N/daa. (Hoel, 2022). Samt MSAVI-verdier fra 0 til 1. I denne delen er dekar (daa) brukt som areal.

Bestemte stigningsgraden "a" ved

$$a = \frac{\Delta \text{nitrogentildeling}}{\Delta \text{MSAVI2}} \quad (15)$$

$$a = \frac{261 - 1051}{1 - 0} = -790 \quad (16)$$

Bestemte skjæringspunktet "b" ved har vi bestemt at ved MSAVI-verdi 0 er N-tildeling 1051 kg N/daa. Derfor er "b" = 1051.

⁷Grunnen til at den nyeste 2021-verdiene er ikke benyttet er fordi den har kun oppgitt gjennomsnittsverdien og ikke min- og maksimumsverdier i presentasjonen.

Derfor benyttet disse parameterne til å estimere påkrevd mengde N-tildeling basert fra jord- og plantetilstand fra MSAVI2:

$min_x = 261$, $maks_x = 1051$, $min_y = 0$ og $maks_y = 1$.

$$y = -790x + 1051 \quad (17)$$

y = Anbefalt N-gjødslingmengde

x = Input - MSAVI2-verdi

Dette kan tolkes som for hver økning x i MSAVI2-verdi, minker mengdebehovet i N-gjødsel med -790 kg N/daa.

Satte denne formelen inn i "Raster Calculator" i ArcGIS. For å gjøre kalkuleringen enklere er "Zonal Statistics" for å kalkulere total gjennomsnitt MSAVI2-verdier som input for "x" i funksjonen. Dersom man antar vi at kjører funksjonen for hver piksel i , så vil resultatverdien være det som å summere MSAVI2-gjennomsnitt av grenseområdet "x" ganger stigningsgraden "a".

$$\sum_{i=1}^{piksel} piksel_i \times -790 \approx \overline{MSAVI2} \times -790(18)$$

Sammenlikning av nitrogentildeling på tvers av datakilder finner man under "Resultat".

7 Resultat

7.1 Geometrisk nøyaktighet av RGB

NB: Kun opptaksdato med felles opptaksdato med Sentinel-2 og Digifarms DRv3 er tatt med i denne tabellen for sammenlikning. Det har ikke blitt gjort interpolasjon for RGB-bilder

Avvik i X [m], Avvik i Y [m], RMSE [m] er hentet PIX4D-mapper "Quality report" generert etter måling dronemåling. Verdiene kommer fra feltet "Absolute Geolocation Error" i rapporten. Grunnen til at alle "Quality report" fra dronemålinger ikke ligger under "Appendiks" er fordi hver enkelt rapport har mange sider. Vedlegget vil ta altfor mye plass. Derfor er det laget oversikt over kun viktige verdier for denne oppgaven.

Tabell 4: Geometrisk nøyaktighet av DJI P4 MS drone

DJI P4 MS drone	GSD [cm/px]	Avvik i X [m]	Avvik i Y [m]	Avvik i Z [m]	Total avvik i grunnriss [m]	Total RMSE i grunnriss [m]
Polygon A 24.06.2023	2,68	1,652826	2,340356	25,989086	2,8651527	3,176427916
Polygon B 24.06.2023	2,72	-0,410252	1,081735	39,838815	1,156917159	1,347533271
Polygon A 23.08.2023	2,78	1,732585	1,66604	32,756082	2,403651402	2,562689848
Polygon B 23.08.2023	2,77	0,153488	1,695912	43,041038	1,702843527	1,711144752
Polygon A 04.09.2023	2,68	1,70777	0,531739	34,758493	1,788637676	1,798906348
Polygon B 04.09.2023	2,76	1,380673	0,874583	38,076389	1,634366347	1,651167121
Polygon A 24.09.2023	2,98	-5,282658	9,353298	-78,271767	10,74200442	12,57688453
Polygon B 24.09.2023	2,69	0,302536	1,86561	40,999448	1,889981138	1,917971494

Tabell 5: Digifarm DRv3 - geometrisk nøyaktighet

Digifarm DRv3	GSD [m]	Avvik i X [m]	Avvik i Y [m]	Avvik i Z [m]	Total avvik i grunnriss [m]	Total RMSE i grunnriss [m]
Polygon A 24.06.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon B 24.06.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon A 23.08.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon B 23.08.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon A 04.09.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon B 04.09.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon A 24.09.2023	1	?	?	?	?	?
Polygon B 24.09.2023	1	?	?	?	?	?

NB: Manglende data "?" i tabellen for Digifarms DRv3 data er videre dis-

kutert under ”Diskusjon”

Tabell 6: Sentinel-2 - geometrisk nøyaktighet

Sentinel-2	GSD [m]	Avvik i X [m]	Avvik i Y [m]	Avvik i Z [m]	Total avvik i grunnriss [m]	Total RMSE i grunnriss [m]
Polygon A 24.06.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon B 24.06.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon A 23.08.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon B 23.08.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon A 04.09.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon B 04.09.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon A 24.09.2023	10	?	?	?	?	?
Polygon B 24.09.2023	10	?	?	?	?	?

NB: Manglende data ”?” i tabellen for Sentinel-2 satellittdata er videre diskutert under ”Diskusjon”

7.2 Tematisk nøyaktighet MSAVI2

NB: Resultat etter at Digifarms DRv3 og dronemålinger interpolert til 10x10m, på lik romlig oppløsning som Sentinel-2 for rettferdig sammenlikning. Samt tatt kun data som har felles opptaksdato

Polygon A							
Dato: 24.06.2023							
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik σ	Kommentar
Sentinel-2 (10x10m)	25	0,11175001	0,40421733	0,23658578	0,007382026	0,08591872	
DRv3 Digifarm (resamplet)	26	0,08652939	0,83497852	0,5060343	0,028243838	0,16805903	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	26	-0,08292623	0,6774382	0,21569804	0,052498421	0,22912534	Bilineær resamplet til 10x10m
Polygon B							
Dato: 24.06.2023							
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik σ	Kommentar
Sentinel-2 (10x10m)	99	0,17370737	0,49878421	0,31168546	0,007083882	0,0841658	
DRv3 Digifarm (resamplet)	93	0,45548776	0,88677925	0,69754212	0,012601477	0,1122563	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	93	-0,01049414	0,55232978	0,26466365	0,016214964	0,12733799	Bilineær resamplet til 10x10m

Figur 63: Resultat 24.06.2023

Polygon A							
Dato: 28.08.2023							
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik	Kommentar
Sentinel-2 (10x10m)	25	0,12108523	0,41030636	0,26214111	0,006103913	0,07812754	
DRv3 Digifarm (resamplet)	26	0,15915996	0,89630938	0,58677146	0,040134301	0,20033547	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	26	-0,03619181	0,80456781	0,25696163	0,074590585	0,27311277	Bilineær resamplet til 10x10m
Polygon B							
Dato: 28.08.2023							
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik	Kommentar
Sentinel-2 (10x10m)	99	0,08060044	0,59237152	0,13932548	0,003794363	0,0615984	
DRv3 Digifarm (resamplet)	93	0,27044967	0,90328103	0,46350772	0,013823269	0,1175724	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	93	0,05014023	0,68976879	0,14924691	0,011608328	0,10774195	Bilineær resamplet til 10x10m

Figur 64: Resultat 28.08.2023

Polygon A								
Dato: 04.09.2023								
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik σ	Kommentar	
Sentinel-2 (10x10m)	25	0,03528291	0,31152219	0,20677964	0,003566598	0,059721		
DRv3 Digifarm (resamplet)	26	0,00748312	0,79228789	0,53667104	0,027316804	0,16527796	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m	
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	26	-0,09444286	0,512676	0,10264229	0,022140949	0,14879835	Bilineær resamplet til 10x10m	
Polygon B								
Dato: 04.09.2023								
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnittsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik σ	Kommentar	
Sentinel-2 (10x10m)	99	0,07973367	0,30450901	0,12866474	0,001239802	0,03521082		
DRv3 Digifarm (resamplet)	93	0,30879653	0,71367592	0,42537769	0,005894935	0,07677848	Bilineær resamplet fra 1x1m til 10x10m	
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	93	0,00762876	0,34973973	0,08033654	0,003834799	0,06192575	Bilineær resamplet til 10x10m	

Figur 65: Resultat 04.09.2023

Polygon A								
Dato: 24.09.2023								
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnitt tsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik	Kommentar	
Sentinel-2 (10x10m)	25	0,06267142	0,39556891	0,22997775	0,007857211	0,08864091		
DRv3 Digifarm (resamplet)	26	-0,01954017	0,87043852	0,52989509	0,039726362	0,19931473	Resamplet fra 1x1m til 10x10m	
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	26	-0,1740672	0,61610436	0,20052082	0,045417679	0,21311424	Bilineær resamplet til 10x10m	
Polygon B								
Dato: 24.09.2023								
Kartleggingsmetode	N (antall piksler)	MSAVI2 minverdi	MSAVI2 maksverdi	MSAVI2 gjennomsnitt tsverdi	Varianse σ^2	Standardavvik	Kommentar	
Sentinel-2 (10x10m)	99	0,0901466	0,46430171	0,18396904	0,004794341	0,06924118		
DRv3 Digifarm (resamplet)	93	0,31634051	0,8796593	0,50317047	0,015118672	0,12295801	Resamplet fra 1x1m til 10x10m	
DJI P4 multispektral drone (resamplet)	93	-0,03244691	0,73715013	0,13959354	0,017369308	0,13179267	Bilineær resamplet til 10x10m	

Figur 66: Resultat 24.09.2023

Kruskal-Wallis test⁸: Analyserte resultatet ved bruk av Kruskal-Wallis test (OpenAI, 2024b) med følgende nullhypotese H_0 og alternativ hypotese H_1 med signifikansnivå $\alpha=0.05$

- H_0 = Det er ikke signifikant forskjell i deteksjon av jord- og avlingstilstand mellom Sentinel-2, Digifarm og DJI P4 drone.
- H_1 = Det er signifikant forskjell i deteksjon av jord- og avlingstilstand mellom Sentinel-2, Digifarm og DJI P4 drone.

⁸Benyttet online kalkulator fra Statskingdom for beregning av Kruskal Wallis test med Dunns test post hoc. Link: <https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>

Analyse MSAVI2

NB: Statistikken av MSAVI2-verdiene antar samme oppløsning 10x10m, samme grenseområde og samme opptaksdato for alle Sentinel-2 data, Digifarms DRv3 data og DJI P4 dronemålinger

Tabell 7: Resultat Kruskal-Wallis test ⁹ for Polygon A

Polygon A

Dato	Total N	H-test	df	Kritisk verdi χ^2	Nullhypotese
24.06.2023	77	31.38354	2	5.99146	Forkaste
23.08.2023	77	28.5861	2	5.99146	Forkaste
04.09.2023	77	47.039	2	5.99146	Forkaste
24.09.2023	77	30.3684	2	5.99146	Forkaste

Tabell 8: Resultat Kruskal-Wallis test ¹⁰ for Polygon B

Polygon B

Dato	Total N	H-test	df	Kritisk verdi χ^2	Nullhypotese
24.06.2023	285	188.8150	2	5.99146	Forkaste
23.08.2023	285	169.7317	2	5.99146	Forkaste
04.09.2023	285	221.946	2	5.99146	Forkaste
24.09.2023	285	182.8045	2	5.99146	Forkaste

Siden H-test er større enn kritisk verdi $\chi^2(0.05, 2)$ for alle fire måledatoene, forkaster man nullhypotesen. Ved å akseptere den alternative hypotesen, konkludere man at det er signifikant forskjell i deteksjon av MSAVI2-variasjoner mellom Sentinel-2, Digifarm og DJI P4 drone i Polygon A og i Polygon B området.

Dunns test - post hoc¹¹: Benyttet videre Post Hoc test egnet for Kruskal-Wallis (OpenAI, 2024b) → Dunns test for å bestemme hvilke av de tre datakildene (Sentinel-2, Digifarm & drone) som er statistisk forskjell i deteksjon av jord- og avlingstilstand med bonferronis korrigerede signifikansnivå $\alpha=0.01667$, der $df = 2$. Rødt skrift i tabellen betyr at man forkaster nullhypotesen. Grønt skrift betyr at man ikke forkaster nullhypotesen.

Følgende hypotesetest lyder:

- H_0 = Det er ikke signifikant forskjell i deteksjon i jord- og avlingstilstand i minst ett av pargruppene (Sentinel-2 mot Digifarm, Sentinel-2 mot drone & Digifarm mot drone).
- H_1 = Det er signifikant forskjell i deteksjon i jord- og avlingstilstand i minst ett av pargruppene (Sentinel-2 mot Digifarm, Sentinel-2 mot drone & Digifarm mot drone)

Tabell 9: Polygon A - Dunns test post hoc 24.06.2023

Polygon A 24.06.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-27.41	4.900
DRv3	0	32.31

- p-verdi(Sentinel-2 vs. DRv3) = 0.00001222
- p-verdi(Sentinel-2 vs. drone) = 0.4343
- p-verdi(DRv3 vs. drone) = 1.921e-7
- p-verdi(Sentinel-2 vs. DRv3) = 0.00004038
- p-verdi(Sentinel-2 vs. drone) = 0.3932

¹¹Benyttet online kalkulator fra Statskingdom for beregning av Kruskal Wallis test med Dunns test post hoc. Link: <https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>

Tabell 10: Polygon A - Dunns test post hoc 28.08.2023

Polygon A 28.08.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-25.73	5.35
DRv3	0	31.08

- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 5.486e-7$

Tabell 11: Polygon A - Dunns test post hoc 04.09.2023

Polygon A 04.09.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-27.36	14.56
DRv3	0	41.92

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0.00001267$
- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 0.02012$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 1.413e-11$

Tabell 12: Polygon A - Dunns test post hoc 24.09.2023

Polygon A 24.09.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-28.81	1.69
DRv3	0	30.5

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0.000004265$
- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 0.7879$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 8.855e-7$

Tabell 13: Polygon B - Dunns test post hoc 24.06.2023

Polygon B 24.06.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-128.66	26.01
DRv3	0	154.67

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0$

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 0.02886$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 0$

Tabell 14: Polygon B - Dunns test post hoc 28.08.2023

Polygon B 28.08.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-127.02	16.28
DRv3	0	143.3

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0$
- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 0.1714$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 0$

Tabell 15: Polygon B - Dunns test post hoc 04.09.2023

Polygon B 04.09.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-107.8	70.94
DRv3	0	178.74

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0$
- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 2.518e-9$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 0$

Tabell 16: Polygon B - Dunns test post hoc 24.09.2023

Polygon B 24.09.2023	DRv3	DJI P4
Sentinel-2	-115.1	42.63
DRv3	0	157.73

- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. DRv3}) = 0$
- $p\text{-verdi}(\text{Sentinel-2 vs. drone}) = 0.0003408$
- $p\text{-verdi}(\text{DRv3 vs. drone}) = 0$

Slik er gruppene kategorisert:

1. Gruppe 1: Sentinel-2
2. Gruppe 2: Digifarm DRv3
3. Gruppe 3: DJI P4 MS drone

Høyere differanse i rangssum fra tabellen tyder høyere forskjell i deteksjon i jord-og avlingstilstand relativt innad pargruppen. Fortegnet (positiv eller negativ) forteller hvilke av pargruppen det gjelder. Eksempelvis Polygon A 24.06.2023 Sentinel-2 mot DRv3 som har verdi på -27.41. Dette vil si at for denne parvise gruppen er det større signifikant forskjell i jord- og avlingstilstand for DRv3 kontra Sentinel-2 data. Resultatet viser at alle fire datomålingene har en trend med størst utslag for Digifarms DRv3 data kontra DJI P4 MS drone.

Resultatet fra Kruskal-Wallis test ¹² og Dunns post hoc test ¹³ tyder på at:

- Det er signifikant forskjell i deteksjon av jord- og avlingstilstand mellom Sentinel-2 satellittdata, Digifarms DRv3 data og dronemålinger ved bruk av MSAVI2.
- Det er størst observert variasjonsdeteksjon i jord- og avlingstilstand av Digifarms DRv3 mot DJI P4 drone ved bruk av MSAVI2, der presterer Digifarms DRv3 bedre.
- Det er nest størst observert variasjonsdeteksjon i jord- og avlingstilstand for Sentinel-2 kontra DRv3 ved bruk av MSAVI2, der Digifarms DRv3 prestrer bedre.

¹²<https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>

¹³<https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>

- Det er tredje størst observert variasjonsdeteksjon i jord- og plante-tilstand av Sentinel-2 mot DJI P4 drone ved bruk av MSAVI2, med varierende resultat på hvilke som presterer bedre.

Med fokus på tematisk nøyaktighet for MSAVI2 viser funnet at Digifarm DRv3 kan bedre detektere variasjon i jord- og avlingstilstand bedre enn drone. Samtidig som at Digifarm DRv3 kan detektere bedre enn Sentinel-2. Data viser også at Sentinel-2 kan i noe grad detektere variasjonene like bra som DJI P4 drone, dersom dronen hadde samme romlig oppløsning som Sentinel-2 data. **NB: alle disse funnene har en forutsetning på felles grenseområde, felles opptaksdato og felles romlig oppløsning.**

7.3 Tematisk nøyaktighet N-tildeling

Under er det vist anbefalt N-gjødslingsmengde oppgitt i kg N/daa. Nå som vi vet statistikken over tematisk nøyaktighet for N-tildeling, ønsker vi å undersøke om det er forskjell i mengde N-tildeling for:

- Sentinel-2 mot Digifarms DRv3
- Sentinel-2 mot DJI P4 MS drone
- Digifarms DRv3 mot DJI P4 MS drone

NB: verdiene i kolonnene [Sentinel/DRv3], [Sentinel-2/DJI P4 drone] og [DRv3 / DJI P4 drone] er forholdet innad gruppen og ikke differansen i N-gjødsel. F.eks verdien for N-gjødsling i Sentinel-2 er delt på verdien fra DRv3. Dette enklere oversikt, man kan se hvor stor faktor i forskjell og enklere i prosentandelen

NB: resultatet for N-tildeling antar samme parametere for oppløsning 10x10m, grenseområde og opptaksdato for alle tre datakilder.

Tabell 17: Polygon A - Oversikt N-gjødselsmengde

N-gjødsel [kg N/daa]	Sentinel-2 (10x10m)	DRv3 (10x10m)	DJI P4 MS drone (10x10m)	[Sentinel-2 / DRv3]	[Sentinel-2 / DJI P4 drone]	[DRv3 / DJI P4 drone]
24.06.2023	9001,000	7055,042	9539,833	1,276	0,944	0,740
23.08.2023	8790,708	6364,042	9186,667	1,381	0,957	0,693
04.09.2023	9055,375	6792,833	10507,375	1,333	0,862	0,646
24.09.2023	9055,375	6850,833	9669,708	1,322	0,936	0,708
Gjennomsnitt	8975,615	6765,688	9725,896	1,328	0,925	0,697
Varianse	15852,730	84343,973	313084,690	0,002	0,002	0,002
Standardavvik	125,908	290,420	559,540	0,043	0,043	0,039
KI 95 % [0.05, n=4]	123,387	284,607	548,339	0,042	0,042	0,038
Differanse %				+32.8 %	-7.5 %	-30.3 %

Polygon A

- Sentinel-2 bruker i gjennomsnitt +32.8 % mer kg N/daa kontra Digi-farms DRv3
- Sentinel-2 bruker i gjennomsnitt -7.5 % mindre N kg/daa kontra DJI P4 MS drone
- Digifarms DRv3 bruker i gjennomsnitt -30.3 % mer kg N/daa kontra DJI P4 MS drone

Tabell 18: Polygon B - Oversikt N-gjødselsmengde

Polygon B N-gjødsel [kg N/daa]	Sentinel-2 (10x10m)	DRv3 (10x10m)	DJI P4 MS drone (10x10m)	Sentinel-2 / DRv3	Sentinel-2 / DJI P4 drone	DRv3 / DJI P4 drone
24.06.2023	8131,817	4945,247	8419,161	1,644	0,966	0,587
23.08.2023	9566,817	6785,871	9330,946	1,410	1,025	0,727
04.09.2023	9618,957	7082,688	9875,344	1,358	0,974	0,717
24.09.2023	9186,452	6459,527	9407,215	1,422	0,977	0,687
Gjennomsnitt	9126,011	6318,333	9258,167	1,459	0,985	0,680
Varianse	476460,076	902710,200	370783,425	0,016	0,001	0,004
Standardavvik	690,261	950,111	608,920	0,127	0,027	0,064
KI 95 %	676,443	931,091	596,731	0,124	0,026	0,063
Differanse %				+45.9 %	-1.5 %	-32.0 %

Polygon B

- Sentinel-2 data bruker i gjennomsnitt +45.9 % mer kg N/daa kontra

Digifarms DRv3

- Sentinel-2 data bruker i gjennomsnitt -1.5 % mindre kg N/daa kontra DJI P4 MS drone
- Digifarms DRv3 bruker i gjennomsnitt -32.0 % mindre kg N/daa kontra DJI P4 MS drone

7.4 Total vurdering

Tabell 19: Totalvurdering

Dato	Best geometrisk nøyaktighet	Tematisk nøyaktighet MSAVI2 - Dunns test	Tematisk nøyaktighet minst N-gjødselforbruk
Polygon A 24.06.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon B 24.06.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon A 23.08.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon B 23.08.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon A 04.09.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon B 04.09.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon A 24.09.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
Polygon B 24.09.2023	DJI P4	DRv3	DRv3
SUM	DJI P4 MS drone	Digifarms DRv3	Digifarms DRv3

Basert på alt tilgjengelig statistikk, er det satt opp totaloversikt på hvilke datakilde det er anbefalt å benytte. Disse kategorisert etter: geometrisk nøyaktighet, tematisk nøyaktighet av MSAVI2 & tematisk nøyaktighet av N-gjødsel.

8 Diskusjon

I denne delen diskuteres og deler synspunkt i funn, utfordringer, hull og begrensninger for å løse problemstillingen i oppgaven. Starter først med å diskutere slutten av oppbyggingen og gå oppover for å knytte sammen med litteraturstudiet og bakgrunnen. Eksempelvis totalvurdering fra resultat → resultat tematisk nøyaktighet i N-gjødsel → resultat tematisk nøyaktig MSAVI2 → resultat → metode osv....

8.1 Resultat & funn

I denne delen er resultat & funn delt opp i tre kategorier: geometrisk nøyaktighet, tematisk nøyaktighet i MSAVI2, tematisk nøyaktighet i N-gjødsel.

8.1.1 Geometrisk nøyaktighet

I totalvurdering presterte DJI P4 MS drone bedre på geometrisk nøyaktighet. Digifarms DRv3 presterte bedre på tematisk nøyaktighet i avlingsvariasjon fra MSAVI2 og N-gjødsel. Grunnen til DJI P4 MS drone ble valgt som anbefalt innen geometrisk nøyaktighet er fordi hull i dataen for DRv3 og Sentinel-2. Dette er fordi jeg ikke har fått rapport og/eller metadata for geometrisk nøyaktighet av DRv3 fra Digifarm. Denne henvendelsen ble opplyst til de, men per nå ikke har fått noe svar. Fra nettsiden Sentinel EO Hub Browser er det heller ikke gitt ut rapport og/eller metadata for geometrisk nøyaktighet av Sentinel-2 data. Likevel sier Copernicus sin nettside at Sentinel-2 L1C har en estimert absolutt avvik på 8 m (European Space Agency, 2021) . Så hvis man tar utgangspunkt i dette har Sentinel-2 en romlig oppløsning på 10m med 8m avvik i grunnriss. Basert fra denne observasjon er det påvist at Sentinel-2 data er uegnet for presisjonslandbruk og tildeling av N-gjødsel. Dette er fordi de faktiske MSAVI2-verdiene i den spesifikke posisjon har en avvik på opptil 8 m med Sentinel-2 og videre med CropSAT sine data som tar utgangspunkt i Sentinel-2 (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). utfordringer med dette er at det hjelper lite om MSAVI2-verdien er sanne hvis de ligger i feil posisjon. Dette gjør at bønder kan over- og undergjødsle fordi usikkerhet i stedsnøyaktighet for N-tildeling. Dersom man antar en lineær forhold på 1:10 for avvik [m] i grunnriss for Sentinel-2 og DRv3, så har Digifarms DRv3 data en romlig oppløsning på 1 m med 0.8m avvik i grunnriss.

Det som jeg også burde ha gjort, men ikke gjorde under metode er å estimere avviket manuelt mellom dronemålinger og DRv3 i ArcGIS Pro. Dette kunne man ha gjort ved å finne gjenkjennelige GCP-punkter som er synlig for begge også deretter bruke måleverktøy til å måle distansen til å estimere avvik i grunnriss [XY]. Naturlige GCP-punkter som er store og gjenkjennelige er f.eks vei og takflater med kjente koordinater, slik som koordinater fra Norge i Bilder. Basert på oppløsningen fra Sentinel-2, var grenseområdet for lite og oppløsning var for dårlig til å kunne gjenkjenne naturlige GCP-punkter. Derfor kan man tenke seg at der kun mulig å måle avviket mellom dronemålinger og DRv3. Dette er noe burde gjøres til neste gang for verifisering og estimering. Til tross for at man kan bare kun velge enkelte områder (lavt n-utvalg) kan dette hvertfall gi et pekepinn på den geometriske unøyaktigheten mellom drone og DRv3. Men siden man fortsatt ikke kan estimere avviket i grunnriss for Sentinel-2 manuelt, ville vurdering fortsatt være inkonklusiv på grunn av manglende data og tilgang pålitelige data. Dermed ville det ikke ha vært en rettferdig sammenlikning.

Basert på dette har drone fremdeles en observert gjennomsnittlig avvik [m] på 3.0 m i grunnriss. Med antakelse på lineær forhold på 1:10 for avviket [m] i grunnriss av DRv3, kan man begrunne at Digifarms data presterte bedre i stedsnøyaktighet i geometrisk nøyaktighet enn dronemålinger. Men siden de faktiske verdier for fra Digifarm ikke er oppgitt, er det vanskelig å komme til en endelig konklusjon her. Derfor er det begrunnet i tabellen med større sikkerhet at DJI P4 MS drone presterte bedre basert på tilgjengelig data.

8.1.2 Tematisk nøyaktighet i N-gjødsel

I resultatet er det kommet fram til forskjellige funn på hvilke datakilder som bruker minst nitrogengjødsel etter å ha laget en lineær regresjon (Söderström,

Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016) $y = (-790 \text{ kg N/daa} * \text{MSAVI2}) + 1051$ basert på arealstørrelse. Dette basert på en 2021-statistikk med en minimum gjødslingsmengde på 261 kg N/daa og 1051 kg N/daa for høsthvete (Hoel, 2022), men opplyser ingen informasjon for vårhvete. Siden testområdet for polygon A og B er vårhvete (Kufoalor, 2018), kan dette gi feil resultat for evaluering i N-gjødsel. Dette kan være fordi høsthvete og vårhvete har forskjellige parametere og egenskaper. I tabellen ble gjødslingsmengden summert for hver måling i samme grenseområde [kg N]. Deretter ble disse verdiene delt på areal for sine respektive grenseområder for å få ut enheten kg N/daa. Disse verdiene er basis for verdier i tabell 17 og 18. Grunnen til å dele på areal er for å se om størrelsen på arealet har å si for utslaget i forskjellen for N-gjødsel forbruk på tvers av datakilder. Dette er i sammenheng om arealet i testområdet skulle ha vært større som er videre redegjort i metodediskusjonen. I polygon A med areal på 2.4 daa er det større gjennomsnittsforskjell for Sentinel-2 data mot Digifarm DRv3 på 32.8 % kg N/daa. Dette i kontrast med polygon B på 45.9 & kg N/daa i Polygon.

For Sentinel-2 data mot DJI P4 MS drone er forskjellen for polygon A og B hhv. -7.5 % og -1.5 %. For Digifarms DRv3 mot DJI P4 MS drone er forskjellen for polygon A og B hhv. -30.3 % og -32.0 %.

Basert på dette funnet kan det tyde på at arealet av grenseområdet har å si for forskjell i behovmengde for N-gjødsling. Når arealet øker, øker forskjellen i mengde nødvendig gjødsling for Sentinel-2 kontra Digifarm DRv3 & Digifarms DRv3 kontra drone. Ved Sentinel-2 kontra drone minker forskjellene i mengde N-gjødsling når arealet øker.

Dette kan tolkes som at Digifarms DRv3 presterer bedre enn Sentinel-2 satellittdata for reduksjon i tildeling av nitrogenbehov når arealet øker.

Sentinel-2 presterer like bra som DJI P4 drone når testområde øker. Digifarms DRv3 presterer bedre enn DJI P4 drone når testområde øker. Dette gir mening med tanke på at mindre areal har mindre n utvalg som kan benyttes til statistikk. Siden det er få utvalg, er dette mindre representativt for faktiske verdier og nøyaktighet. I motsetning til et større areal med flere n utvalg som kan bedre estimere N-gjødsel

Dette gir også rom for tolkning med tanke på utfordringer rundt skalerbarhet innen PA. Eksempelvis om man bør benytte en høyoppløsningsdata på 1x1m fra KI kontra å kjøre dronemålinger med multispektrale droner som har sine egne utfordringer rundt lønnsomhet og skalerbarhet. Ved dette funnet ser man at det er estimert mindre behov for mengde nitrogen gjødsel per areal ved Digifarms DRv3 data kontra drone når arealet øker. Dette løser utfordringer med skalerbarhet, siden DRv3 fanger opp et større areal enn drone. Samt løse utfordringer rundt lønnsomhet siden DRv3 bruker mindre N-gjødsel enn drone. For økonomisk del er dette besparelse på kroner i gjødsling. Man sparer også tid å hente ved å innhente data fra DRv3 som ikke krever å måle ved felt kontra dronemålinger, noe som sparer på tid og investering. Dette gjør at bønder har mer tid å fokusere på selve gjødslingsarbeidet. Det har vært mye snakk om hva som kan gå galt under dronemålinger og prosesseringen, der det kunne ha unngått om bønder benyttet Digifarms DRv3 data. Dette gjør at man besparer tid og ressurser. Utfordringer rundt dronemålinger og droneprosessering som bønder kan har blitt observert og redegjort basert fra egen observasjon under metodediskusjonen. Samtidig foreslår Digifarms DRv3 data en mer bærekraftig nitrogenforvaltning for å unngå overgjødsling og tap av nitrogen til miljøet (Nørgaard mfl., 2018) .

Grunnen til at CropSAT ikke ble tatt med i sammenlikning er fordi vi ikke vet hvilke parametere de har satt inn i sin lineær regresjon til å lage N-

gjødselskart. Min formel baserer seg ut på 2021 statistikk over minimum og maksimum N-gjødselsmengde (Hoel, 2022). Når vi ikke vet parametere fra CropSAT, vil tildelingskart til CropSAT være annerledes i forhold til de tre datakildene. I tillegg etter å ha vært innom CropSAT sin nettsiden, kunne man bare hente ut data for 11.06.2023 og neste 29.09.2023. Det er hull i data mellom disse opptaksdatoene. Derfor er det ikke nok utvalg til å benytte CropSAT-data som kontrollmåling for de tre ulike datakildene. Derfor er CropSAT data ekskludert til sammenlikning for ”tematisk nøyaktighet N-gjødsel” under resultater.

8.1.3 Tematisk nøyaktighet i MSAVI2

Det ble konkludert fra resultater at det er statistisk forskjell mellom Sentinel-2 data, Digifarms DRv3 og DJI P4 MS drone for å detektere variasjons i jord- og avlingstilstand. Resultatet viser at det er størst observert variasjonsdeteksjon i jord- og plantetilstand mellom Digifarms DRv3 data og DJI P4 drone. Vi forkastet nullhypotesen fordi alle p-verdier for denne parvise gruppen er under Bonferonis korrigerert $\alpha^* = 0.01667$ ved bruk av Dunns post hoc test. Ved å lese av gjennomsnittlig rangeringssum (Mean rank sum) fra tabell 9 til 16 i ”Analyse MSAVI2”, har DRv3 kontra drone større utslagsverdi enn alle de andre parvise gruppene (Sentinel-2 mot DRv3 og Sentinel-2 mot drone).

Dersom man sammenlikner CropSAT data (Sentinel-2) og DJI P4 drone, tyder forskningen på at det er minst observert variasjonsdeteksjon i jord- og avlingstilstand for denne gruppen. Dette kan tyde på at det er litt, men ikke stor forskjell på tematisk nøyaktighet mellom CropSAT sine data og DJI P4 drone. Dette med forutsetning at CropSAT benytter Sentinel-2 data som basis (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016) . Forutsatt at drone hadde samme oppløsning som Sentinel-2. Dette kan tolkes som at Crop-

SAT og drone presterer like bra, men Digifarms DRv3 høyoppløsningsdata fanger opp variasjoner og nyanser i jord- og avlingstilstand bedre.

NB: Dette er også forutsatt at NIR-båndet benyttet i DRv3 data, er faktisk NIR til å lage MSAVI2-kart. Under ”metode” ble det opplyst at Digifarm ikke ga opplysning om hvilke båndnr. var NIR i sin DRv3 TIFF-fil. Har sendt henvendelse om dette 10.03.2024, men har per nå fortsatt ikke fått svar. Etter egen vurdering og analyse ut fra visuell inspeksjon og spektralsignatur, ble bånd nr. 7 antatt som NIR og brukt til å lage MSAVI2-kart for DRv3. Men et viktig aspekter som påvirke hele forskningen, resultatet og tolkningen er hvis bånd nr. 7 ikke var NIR. For dette gjør at variasjonene i jord- og avlingstilstand for DRv3 ikke er på samme grunnlag som Sentinel-2 og DJI P4 MS drone. Dette kan for eksempel være at bånd nr. 7 i DRv3 er faktisk RED-Edge, som som gjør at formelen brukt i ”Raster Calculator” faktisk likner mer på en variant av NDRE enn MSAVI2. For Sentinel-2 og DJI P4 drone er vi ganske sikre på at NIR-bånd er faktisk NIR, siden det er opplyst. Men for Digifarm DRv3 er vi usikre om vi har valgt riktig bånd. Dette gjør at det er større usikkerhet i å sammenlikne og tolke variasjonsdeteksjon i jord- og plantetilstand, noe som var målet med denne oppgaven.

I tillegg er det viktig å understreke at båndbredden til Sentinel-2(Cerasoli mfl., 2018) er forskjellig fra båndbredden av drone (DJI, 2020) på grunn av ulike sensorspesifikasjoner. Dette vil si at de to har ulik opptak av spektralsignatur og reflektans, noe som påvirker deteksjon i jord- og avlingstilstand. Siden Sentinel-2 har bredde, kan den kapre mer generelt. Det kan også tenkes at båndbredde i DJI P4 MS drone for hvert bånd er smalere og datafangsten av spektralsignaturen mer spesifikk.

For kontekst har NDRE formelen:

$$\text{NDRE} = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad (19)$$

Grunnen til denne usikkerheten er fordi RED-edge har annet bølgelengde (mm), spektralsignatur og refleksjon enn NIR. Dette gjør at det ikke er en rettferdig å sammenlikne på tvers av datakildene. Råverdiene fra DRv3 (dersom feil bånd) kan påvirke resultatet for Sentinel-2 og DJI P4 drone ved bruk av Kruskal-Wallis og Dunns test.

8.2 Datanalyse & statistikk

Det ble brukt Kruskal-Wallis test for å bestemme om det er statistikk forskjell mellom gruppene Sentinel-2, drone og Digifarms DRv3 høyoppløsningsdata. Dette med anbefaling fra ChatGPT 4.0 av å benytte Kruskal-Wallis data ut ifra nåværende data (OpenAI, 2024b) for valg av metode. Som nevnt tidligere ble alle DRv3 data og dronebilder interpolert (resamplet) til 10x10m for å gjøre sammenlikningen rettferdig, samt ha samme grunnlag for statistikk-beregning. Se under "Interpolasjon" i metode for videre forklaring. Kruskal-Wallis ble benyttet fordi den er en ikke-parametrisk test som er mest egnet basert på tilgjengelig rådata. ANOVA ble ikke brukt fordi den antar uavhengig målinger mellom grupper, normalfordeling og lik varians mellom grupper. Basert fra rådataene er datene verken normalfordelt, har ulike n-utvalg og har ulik varians innad gruppene. Kruskal-Wallis testen løser dette ved at den ikke antar normalfordeling, kan egne seg godt når variansen mellom gruppene er ulike og egner seg godt når n-utvalg er lite. Dette er spesielt viktig for område som polygon A som har lite n-utvalg. Grunnen til at det ble gjort kalkulering via online kalkulator¹⁴ fra en nettside var for å minske slurvefeil

¹⁴<https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>

ved beregning. Samt spare tid for det var mye rådata som måtte beregnes.

Et viktig aspekt som kan påvirke hele resultatet er Kruskal-Wallis antakelse om uavhengige målinger mellom grupper. Det jeg ikke tenkte på der og da er om Digifarms DRv3 data faktisk er en uavhengig gruppe. Dette er fordi DRv3 benytter Sentinel-2 data som grunnlag, noe som gjør DRv3 en avhengig gruppe. Men det kan hende at Digifarm har gjort andre endringer enn bare nedskalere 10x10m til 1x1m som ikke er opplyst. Derfor kan man begrunne for at DRv3 er en uavhengig datakilde. I etterkant kunne man ha sett på hvor avhengig DRv3 data er med Sentinel-2 ved å utføre lineær regresjonsanalyse for å undersøke hvor stor utslaget er i korrelasjon. Likevel endrer ikke faktaen på at DRv3 baserer seg på Sentinel-2 data, noe som gjør DRv3 en avhengig datakilde. Ved denne antakelsen om at DRv3 er en avhengig datakilde, er ikke Kruskal-Wallis test den mest egne statistiske metoden for denne situasjon. En bedre løsning ville ha vært å utføre to separate tester for grupper som er uavhengige og uavhengige datakilder.

For DRv3 mot Sentinel-2 data, ville en ikke-parametrisk avhengig test vært mer hensiktsmessig, slik som Wilcoxon signed rank test.

For Sentinel-2 mot drone og DRv3 mot drone, ville en ikke-parametrisk uavhengig test vært mer hensiktsmessig, slik som Mann Whitney U test.

Siden det er antatt at DRv3 er en avhengig datakilde, vil dette påvirke påliteligheten i resultatet fra Kruskal-Wallis test og Dunns post hoc test. Dataene fra DRv3 kan påvirke resultatet til de andre datakilde, noe som fører til høyere sannsynlighet for type I feil i hypotesetestingen. Dette er når nullhypotesen blir forkaster, når det egentlig ikke skulle gjøre det. Dette kan tolkes som at man tror det er statistisk forskjell i gruppene når i realiteten det ikke er det.

Under metode ble Digifarms DRv3 data og dronebilder interpolert til 10x10m¹⁵ for en rettferdig sammenlikning og for evaluering på samme grunnlag. Det ble gjort med bilineær interpolasjon, som egnet godt til kontinuerlig. Et annet alternativ til interpolasjonsmetode kunne ha vært bikubisk interpolasjon, som kunne ha interpolert verdiene bedre enn bilineær. Men siden prosesseringen ville ha tatt lengre tid håpet jeg at bilineær kunne ha gjort jobben like bra.

Det var en tanke om NDVI og MSAVI2 skulle brukes til å analysere resultatet. I starten var å bruke begge vegetasjonsindeksene til å sammenlikne. Endte med å kun benytte MSAVI2-data. Det er tre grunner til dette. Det tok veldig langt tid å prosessere multispektrale bilder i PIX4D-Mapper. Så ved å inkludere NDVI ville prosesseringen tatt enda lenger tid. NDVI overmetter tidlig i vekstsesongen, der MSAVI2 prestrerer bedre (Qi mfl., 1994) ved å ta høyde for reflektans av jorda. Til slutt ble NDVI regnet som redundant data fordi CropSAT benytter MSAVI2 (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). For en rettferdig sammenlikning ble kun verdiene fra MSAVI2 benyttet.

I ”feltlogg fra feltarbeid 2023” fra Appendiks ble det også gjort flere dronemålinger på samme dag. Tanken var å se på om det er forskjell i jord- og avlingsvariasjon innen samme dag. Tanken var å dronemåle noen 2-3 timer før tidspunktet Sentinel-2 fløy over området og dronemåle 2-3 timer senere for å se om det forskjell i variasjon. På grunn av tidsbegrensning ble dette ikke analysert videre. Dette kan være et forskningsforslag for å bygge på denne forskning.

¹⁵Grunnen til hvorfor 1x1m ikke ble valgt som referanse er beskrevet i ”Interpolasjon” under metode.

8.3 Metode

De største utslagene som påvirker det geometriske resultatet og tematiske nøyaktigheten for DJI P4 MS drone er prosesseringen i PIX4D-mapper, dronemålinger fra felt og GCP-punkter.

8.3.1 Droneprosessering

Fra tabell 4 i "Geometrisk nøyaktighet RGB" kan man se at det er stort avvik i høyde [Z], i forhold til avvik i grunnriss [XY]. En ting som kan resulterer i dette avviket er feil i input og output av høydereferansesystem. GCP-punktene målt med RTK/GNSS-rover tar utgangspunktet i høydereferansen NN2000. Men i PIX4D-Mapper høydereferanse kunne man benytte geoidmodellen "MSL EGM 96 Geoid" som output, mens man kunne ha søkt opp EUREF89 UTM sone 32N (EPSG:25832) i grunnriss. Siden det er stor høydendifferanse mellom "MSL EGM 96 Geoid" og NN2000-høydereferansesystemet, vil det resultere i stort avvik i Z [m] vist i tabell 4. En mulighet å kunne se tilbake på er om det ville ha vært mulig å importere NN2000 i PIX4D-mapper eller eventuelt benytte annen fotogrammetrisk programvare med NN2000 som output. Grunnen til at avvik i Z [m] ikke er tatt i beregning for total avvik [m] i tabellen er nemlig det store høydeavvik som ville ha forskjøvet av resultatet fra Z. Dette på bakgrunn av at høydeavviket Z er upålitelig som skyldes av feil høydedatum. Å ekskludere avvik i Z for å evaluere totalavvik i grunnriss [XY] går nok fint i områder med flatt overflate som polygon A. I områder med stor høydeforskjell, slik som polygon B, er det viktigere å evaluere totalavviket [XYZ] med å ta med Z i beregning. Derfor er det viktig å plassere GCP-punkter strategisk spredt rundt til bruk for GCP-korreksjon. Dette fordi avvik i høyde, vil påvirke avvik i grunnriss. GCP-punkter med verdier kan korrigere for skalering- og orienteringsavvik

fra høydeforskjeller innad grenseområdet ved dronemålinger. (Shafiee, 2023). Spesielt ved dronemålinger der man flyr konstant høyde, og der dronen ikke justerer flyhøyde etter bakkehøyde. For dronemålinger var det en konstant flyhøyde på 50m.

En feil som ble observert var ved GCP punkt nr. 7, der et kumlokk ble benyttet som naturlig GCP-punkt i polygon B. Se figur 29 i ”feltarbeid” under metode. Dette var et komlokk som var delvis åpent. Skyggen inni kumlokken var synlig under dronemålinger og i Norge i Bilder. Derfor benyttet skjæringspunktet mellom skyggen og selve kumlokket. Det var to skjæringspunkter man kunne velge. Markerte feil på GCP pkt 7 for polygon B - målinger i disse datoene 24.06.2023 (måling 2), 26.06.2023, 28.06.2023, 19.07.2023, 20.07.2023, 04.09.2023 i PIX4D-Mapper. Fant ut etter å ha lest figur 21 feil ”GCPB pkt. 7”. Som nevnt var det to skjæringspunkter i kumlokket og markerte den skjæringspunktet som var feil pga klarte ikke å lese av orienteringen. Etter å ha oppdaget feil ble resterende dronemåling-datoer i Polygon B ble satt i riktig markering i PIX4D. Dette er en fin eksempel på en slurvefeil som kunne ha resultert i videre feil i grunnrissavvik. En annen slurvefeil som påvirker grunnrissavviket er om man bommer på treffe riktig punkt i GCP-korreksjoner.

8.3.2 Dronemålinger

NB: problemer og utfordringer er også beskrevet i detaljer under ”Feltlogg fra feltarbeid 2023” i Appendiks. Denne diskusjonsdelen tar utgangspunkt i dette

Under dronemålinger er det flere faktorer som kan påvirke den geometriske nøyaktigheten. Det første er vær- og vindforhold. Andre faktorer som: mye

sidevind under måling, ujevn flyhøyde, målingsstopp på grunn av sterk vind eller lav batteri osv... Eksempelvis satte krav under feltarbeid for å kjøre dronemålinger når det er skyfritt og stille vind ved samme opptaksdato som Sentinel-2. Men dette var ikke alltid mulig. Noen ganger dukket det opp skyer under måling, der lysforholdene av bakken varierte. Varierte lysforhold, selv etter radiometrisk kalibrering, kan fortsatt påvirke bildematchingen som resulterer i unøyaktighet. Dette gjelder også før måling. F.eks kan det være gjort radiometrisk kalibrering når det er skyfritt, og deretter overskyet ved dronemåling. Derfor ble det tatt dronebilde av kaliberingsplate før og etter måling. I PIX4D-Mapper tillates bare en plate å korrigere for. Derfor ble radiometrisk kalibrering tatt utgangspunkt i platen før måling. Andre ting som kan påvirke den radiometriske kalibreringen er om kaliberingsplaten er utsatt for støv og grus som kan påvirke reflektansen dronen fanger opp. Siden kaliberingsplaten er plassert oftest ved grusvei og/eller jorda, er sannsynlighet for at det kommet inn smuss høy. I forelesningsnotatet på anbefalte de front- og sideoverlapp anbefalte de å kjøre 85 % frontoverlapp og 70 % sideoverlapp (Shafiee, 2023). Men dette med antakelse på en flat terreng. For polygon A ville dette ha funket fint, men i et område som Polygon B burde man ha andre parametere. Til neste forskning kan man endre på disse parameterne for å se om det forskjell i geometrisk nøyaktighet. En annen ting som CropSAT gjorde i sin forskning er å benytte optisk håndholdt MS sensor, for å validere og kontrollmåle for verdien av jord- og avlingstilstanden (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016). Dette ble ikke tenkt på under feltarbeid, men noe som burde gjøres til neste forsøk for videre evaluering av datakvaliteten.

8.3.3 GCP-punkter

Selve materiale til GCP-punkt i polygon B kan påvirke den geometriske nøyaktighet. Siden trepallene ikke var fastmontert til bakken, er det en sannsynlighet for at trepallene har flyttet på seg i løpet av feltarbeidperioden. Enten av været eller menneskelige faktorer. I området kjører bonden ofte traktoren i polygon B. Derfor ble det benyttet stang slik at bonden kan se dette. Men stangen er tynn og er ikke alltid lett å se fra avstand. Dersom pallene har flyttet på seg, ville det ha ført til feil i GCP-punktkoordinater. Eller at noen har skubbet borti pallen. Det som ville ha vært lurt å gjøre er dobbeltsjekke punktkoordinatene igjen ved å kjøre ny runde med RTK/GNSS-måling for å se om det er avvik fra forrige måling. Men på grunn av tidsbegresning ble dette ikke gjort, samtidig som at det var mange master- og phd-studenter som måtte benytte RTK/GNSS-rover under hele feltarbeidsperioden. Som nevnt tidligere lå polygon B i den slak oppoverbakke. For å minske usikkerheten i høydeavviket ble det plassert minst 5 GCP-punkter (Shafiee, 2023) i form av trepaller. Én palle i midten av grenseområdet. 2 paller ved bunnpunktet og 2 paller ved toppen av bakken. På grunn av størrelsen til pallene var det ikke mulig å se disse på Digifarms DRv3 data. Ved fremtidig måling kan man se på alternativer for å øke arealet til GCP-punktene. Eksempelvis fastmontere GCP-plater som er større enn 1x1m. Det ville vært nyttig å se om det synes bedre i 10x10m eller 20x20m. Men dette var en begresning i denne oppgaven fordi Instituttet ved Vollebakk ikke hadde slikt utstyr. Den geometriske nøyaktigheten av RTK/GNSS-rover og RMS av grunnsriss spiller også rolle om koordinatene til GCP-punkter målt er pålitelig. Dårlige RTK/GNSS-målinger kan føre til unøyaktighet i sluttresultatet for hele geometriske- og tematiske nøyaktighet grunnet feil koordinatverdier av GCP-punkter.

8.3.4 Kvalitativt undersøkelse

Det ble gjort kvalitativt spørreundersøkelse i form av en skriftlig intervju. Grunnen til at kvalitativ undersøkelse ble gjort istedenfor kvantitativt undersøkelse er for å om høre synspunkter på nåværende utfordringer ved dagens presisjonslandbruk på et subjektivt grunnlag. Grunnen til at muntlig intervju ikke ble gjort på grunn av avstand- og tidsbegrensning. Siden det var starten i avlings sesongen var det et inntrykk om at de fleste bønder ikke hadde tid til å møtes i person. For at bønder kunne svare fritt, samt svare når de hadde tid var skriftlig intervju mest hensiktsmessig. Det ble sendt ut e-post til bønder rundt i Ås, Vestby og Drøbak. På grunn av lav respons var det bare en gård som svarte og som var villige til å delta. De enkelte svarte at de ikke hadde tid eller ikke hadde stort nok avlingsområde til at det ville ha vært relevant. Etter nøye vurdering var spørsmålene fra den skriftlige intervjuet nokså vagt og dårlig formulert. Dette kunne resultert at respondenten kunne ha mistolket spørsmålet. Siden det er kun 1 svarrespons er synspunktet for denne bonden ikke vært representativ for alle bønder. Siden forskjellige bønder har ulike synspunkter, utfordringer og meninger rundt hvordan de anvender presisjonslandbruk. Til neste forsøk burde man ha hatt flere svarrespons for å danne et helhetlig bilde over nåværende situasjon. Dette kan gjøres nå ut til bønder rundt landet. I denne oppgaven skulle jeg ha spurt flere bønder utenfor Ås, Drøbak og Vestby-området. Ett for å nå ut til flere er å sende henvendelse om spørreundersøkelse til Norges Bondelag for å nå ut til flere, men man også ta hensyn til personvern når man skal sende slike henvendelser. Og hvordan man behandler slike data. Personvern og etikk var en viktig faktor for å lage denne kvalitative undersøkelsen. Der understreket jeg i e-posten at jeg å få samtykke fra vedkommende, dersom de ville være med i en slik spørreundersøkelse før jeg ga de spørsmålene. I tillegg er

navn på bonden ekskludert av personvernmessige grunner. Når det gjelder personvern ved dronemålinger bør man være varsom å dronemåle hvor det er mulig at en person å bli identifisert, spesielt hvis vedkommende ikke er klar over dette. Dette gjelder blant annet dronebilde ved folk tilstede, bilskilt og andre ting som kan gjøre at en person blir identifisert. I dette forskningsområde er master- og phd-studenter og NMBU-bonden kjent at det kjøres mye dronemålinger i dette området.

8.3.5 Testområde

Som man ser fra resultatet var det forskjell hvor god variasjonsdeteksjon av jord- og avlingstilstand ut ifra grenseområde. Større grenseområde gir mer representativt og pålitelig resultater enn områder som er liten. Skalerbarheten og størrelsen av grenseområdet var begrenset etter dronens flyhøyde og batterioperasjon. Dette fremhever igjen én av utfordringer rundt multispektrale droner innen PA. Droner kartlegger ikke område like stort og kjapt som Sentinel-2 og Digifarms DRv3. Dette er en begrensning som påvirker lønnsomheten og enkelheten. Når det gjelder Digifarm DRv3, kan et grenseområde påvirke dyplæringen. Siden dyplæring tar utgangspunkt i treningsdata og mye data, vil et lite område med få datautvalg gjør det vanskelig for treningsdata å identifisere ulike egenskaper for å kunne nedskalere fra 10x10m til 1x1m. For neste forsøk bør man ha hatt et større grenseområde ved dronemåling. Dette kan være f.eks å fly høyere for å kartlegge et større område eller skifte til en annen MS drone som har lengre batterilevetid. Et større området ville også ha hjulpet DRv3 til å danne bedre høyopløsningsdata for å minske geometrisk- og tematisk usikkerhet. Dette har de nevnt selv i sin nettsiden at dersom man bestiller data fra Digifarm bør man velge en minimum valgt grenseområde på 3 ha (30 daa) (DigiFarm,

2024). Basert på dette kan vi allerede se at DRV3 ville ha prestert dårlig i areal som 2.4 daa fra polygon A og 9.3 daa fra polygon B. Disse er langt under minimumskravet, noe som gjør at det er stor rom for feil. Dette bør man også ta med i for totalvurderingen. Dersom man skal benytte DRv3 i senere forskning bør man benytte deres anbefalt råd på minst 3 ha (30 daa) (DigiFarm, 2024), slik at modellen utføres optimalt. For denne oppgaven var testområdet begrenset ett område i Ås. For et mer representativt studie burde man ha hatt flere testområder rundt landet. Dette fordi Østlandet kan ha andre jord- og avlingsforhold enn f.eks Vestlandet.

8.3.6 Tidsmessig oppløsning

Dronemålinger ble sterkt påvirket av den tidsmessige oppløsning av Sentinel-2 og Digifarms DRv3 data. Dette fordi man måtte vente i gjennomsnitt hver 5. dag for ny Sentinel-2 bilde, noe som begrenset til gjennomsnittlig fire bildeopptak per måned. Vær- og vindforhold påvirker også. Dersom Sentinel-2 bildeopptak var en overskyet i flere, så vil flere bilder være ubrukelig. Bonden fra Kjølstad gård adresserte denne utfordringen i spørreundersøkelsen, der han skrev i Svar 3. at siden man får få data fra Sentinel-2 pga lav tidsmessig oppløsning er man avhengig av gode værforhold for at dataen skal være brukbar.

Dette er grunnen til at jeg endte opp med å kun analysere 4 bilder på tvers som hadde samme opptaksdato: 24.06.2023, 23.08.2023, 04.09.2023 og 24.09.2023. Med få utvalg gjør det vanskeligere å evaluere i motsetning til mange målinger med felles opptaksdato. Derfor har jeg foreslått hva bør forskes på i videre forskning for å adressere dette. Per nå er MS drone mest egnet i forbindelse med tidsmessig oppløsning, siden man kan måle når som helst.

8.4 Videre forskning

Basert fra alle egne observasjoner under diskusjon, er disse forslag på forskning man kan bygge på fra denne oppgaven:

Integrere YARA N-sensor med Digifarms DRv3 høyoppløsningsdata for å forbedre vurderingen av tematisk nøyaktighet.

Fokusere på hvor stor grad tidsmessige oppløsning har for deteksjon i jord- og avlingstilstand. Siden denne forskningen er begrenset til Sentinel-2 romlig oppløsning på 5 dager. Videre forskning bør utforske høyere romlige og tidsmessige oppløsning til å sammenlikne av multispektrale droner (som har allerede høy tidsmessig oppløsning fra før). For høyere tidsmessig og romlig oppløsning enn Sentinel-2 satellittdata, kan man undersøke en annen multispektral satellitt tilgjengelig. Satelliten Planetscope har en tidsmessig oppløsning (revisit time) på 1 dag. Denne satellitten har en RGB, Rød og NIR-bånd på 3 m. Deretter sammenlikne Planetscope satellittdata 3.0m - 4.1m GSD (Planet Labs PBC, 2023) med multispektral droner. Ved høyere tidsmessig oppløsning er det mer sannsynlighet for flere data for bildeopptak mellom drone og Planetscope.

CropSAT skrev i forskningsrapporten sin at de først benyttet DMC og Landsat satelliten som basis for deres data før de skiftet over til Sentinel-2 i 2016. (Söderström, Stadig, Martinsson, Piikki & Stenberg, 2016) Så hvis de er åpne for dette, kan Planetscope satelliten forbedre den romlige oppløsningen fra 10m GSD til 3.0m-4.1m GSD. (Planet Labs PBC, 2023).

Dersom CropSAT er villige til å utlede data fra Planetscope satellitt, kan en alternativ. Samt videre integrere YARA N-sensor en forbedret romlig og tidsmessig oppløsning til PA.

Videre er det interessant om Digifarm DRv3 klarer videre å utvikle sin SISR dyplæring for å kunne oppnå romlig oppløsning på submeter (under 1m GSD) fra Sentinel-2 data.

Eller om Digifarm DRv3 er åpen for å benytte andre multispektrale satellitt-data som har høyere romlig oppløsning og tidsmessig oppløsning enn dagens Sentinel-2 satellitt. Dersom Digifarm DRv3 benytter Planetscopes satellitt-data, kan dette være en mulighet for DRv3 data å generere data med romlig oppløsning under 1m GSD, muligens på centimeters oppløsning på lik linje med dronemålinger. Det ville ha vært en interessant sammenlikning å evaluere SRSIs teknologiske utvikling når romlig oppløsning når ned til centimetersnivå til bruk for PA. Dette ville ha hjulpet bønder enda bedre å ta bedre avlingsbeslutninger, samt kunne jobbe med ny teknologi i fremtiden.

9 Konklusjon

Etter en totalvurdering, har vi funnet en statistisk forskjell i jord- og avlingsdeteksjon mellom Sentinel-2 satellittdata, Digifarms DRv3 og dronemålinger ved bruk av vegetasjonsindeksen MSAVI2 ved bruk av Kruskal-Wallis test. Basert på funnet er oppgaven besvart ved å konkludere at det er stor betydning i jord- og avlingsdeteksjon basert på ulike romlig oppløsning. Dette med forutsetning at alle tre datakilder har samme grunnlag. I dette tilfelle samme opptaksdato, samme grenseområde og samme romlig oppløsning. Grunnen for å ha samme grunnlag er for å gjøre en rettfærdig sammenlikning. Forskningsmålet i innledningen var å videre undersøke dersom man antar at er forskjell i jord- og avlingsdeteksjon, at Digifarms høyoppløsningsdata presterer like bra eller bedre enn dronemålinger og Sentinel-2. Basert på funnet gjennomført av Dunns post hoc test, har vi vist at det er størst observert

variasjonsdeteksjon i jord- og avlingsvariasjon av Digifarms DRv3 kontra DJI P4 MS drone ved bruk av MSAVI2. Dette kan tyde på at Digifarms høyoppløsningsdata presterer bedre i denne kategorien. Når det gjelder tematisk nøyaktighet i N-tildeling så benytter Digifarms DRv3 mindre kg nitrogen per daa enn dronemålinger. Ved et grenseområdet med areal 2.4 daa og 9.3 daa viser DRv3 i reduksjon i N-behov på hhv. -30.3 % & 32.0 %. Her kan man se en trend at mengde N-gjødslingsbehov minker når arealet øker for Digifarm DRv3 data kontra DJI P4 MS drone.

Ved geometrisk nøyaktighet viser nåværende data at DJI P4 MS drone presterer bedre og har minst totalavvik [m] i grunnriss [XY] relativt til de to andre datakildene. Siden vi ikke har de faktiske verdiene for totalavvik i Sentinel-2 og Digifarms DRv3, er det ikke å mulig å gjøre grundig sammenlikning. Totalavviket i Sentinel-2 og DRv3 er basert på estimer fra observasjon og antakelser. Siden disse er kun estimer er disse ikke pålitelig nok til tatt med i tabellen og er markert som ”?”. Til tross for manglende data av stedsnøyaktighet, viser Digifarms DRv3 høyoppløsningsdata høy potensiale for bønder som ønsker å ta gode beslutninger etter god nøyaktighet i å dektektere variasjoner i jord- og avlingstilstand. Funnet viser at DRv3 presterer like bra eller bedre enn drone i denne kategorien, noe fører det til at bønder ikke trenger å være så avhengig av bruke multispektral droner til presisjonslandbruk og variabel tildeling enn det vi trodde. Likevel må hullet i data for den geometriske nøyaktighet av DRv3 data tas til hensyn, fordi den påvirker påliteligheten og hvor mye man kan stole på funnet for tematisk nøyaktighet. Fra diskusjonsdelen og fra egen observasjon har det blitt adressert ulike utfordringer bønder kan støte under dronemålinger. Disse utfordringene har ført til unødvendig tidsfordriv, vært ulønnsom, samt begrenset kartleggingsområde grunnet av dronens spesifikasjoner. Funnet viser at Digifarms DRv3

høyoppløsningsdata kan være et like bra alternativ som kan løse disse utfordringene. Digifarms høyoppløsningsdata kan fange opp et større område enn det drone kan, data kan hentes relativt kjøpt og enkelt. I tillegg er det er ikke behov for å investere store summer kontra multispektral droner. Likevel har DRv3 har lavere tidsmessig oppløsning begrenset til samme tidsmessig oppløsning som Sentinel-2 hver 5. dag. Dette til forskjell for drone, der man kan i teorien måle når som helst på dagen. For å adressere dette er det kommet forslag til videre forskning beskrevet mer i detaljer over.

Avslutningsvis, håper vi at bøndene har fått innsikten de trenger fra denne oppgaven til å ta gode beslutninger på hvilke datakilde som er mest hensiktsmessig for vedkommende. Vi håper at funnet fra det geometriske- og tematiske nøyaktighet gir et pekepinn. Valg av datakilde kommer helt til bondens preferanse og ønske. Ulike faktorer som arealet på gården, hvilke redskaper og teknologi gården har og er villige til å investere er et viktig aspekt man bør ta hensyn til for presisjonslandbruk.

Referanser

- Akhtman, Y. (2023). Sentinel-2 Deep Resolution 3.0 [Hentet: 2024-05-13].
- ASA, Y. I. (2023). *N-Sensor ALS2 User Manual* [Tilgjengelig ved: <https://www.yara.no/siteassets/crop-nutrition/toolboxsmart-farming/n-sensor/supportside/n-sensor-als2-user-manual-v015-web.pdf>]. Yara International ASA. Oslo, Norway.
- Bleken, E. A. (2017). *A Study of Different Platforms and Sensory Systems for Wheat Field Trials* [Masteroppgave, Norwegian University of Life Sciences, Ås].

- Bukowiecki, J., Rose, T., & Kage, H. (2021). Sentinel-2 data for precision agriculture?—A UAV-based assessment. *Sensors*, *21*(8), 2861.
- Cerasoli, S., Campagnolo, M., Faria, J., Nogueira, C., & Caldeira, M. (2018). On estimating the gross primary productivity of Mediterranean grasslands under different fertilization regimes using vegetation indices and hyperspectral reflectance. *Biogeosciences*, *15*, 5455–5471. <https://doi.org/10.5194/bg-15-5455-2018>
- DigiFarm. (2024). DigiFarm Deep Resolution Imagery Overview [Hentet: 2024-05-13].
- DJI. (2020 august). *P4 Multispectral - User Manual v1.4* [Tilgjengelig ved: <https://www.dji.com/no/p4-multispectral/downloads>]. Versjon 1.4.
- European Space Agency. (2021 mars). Forthcoming deployment of the Copernicus Sentinel-2 products geometric refinement [Hentet: 2024-05-12].
- Galar, M., Sesma, R., Ayala, C., Albizua, L., & Aranda, C. (2020). Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using Convolutional Neural Networks and Real Ground Truth Data. *Remote Sensing*, *12*, 2941. <https://doi.org/10.3390/rs12182941>
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, *327*(5967), 828–831.
- Hoel, B. (2022). Gjødsling i korn med N-sensor: Vårsamling 15. mars 2022 [Tilgjengelig ved: <https://www.yara.no/siteassets/crop-nutrition/n-sensor-varsamling/bernt-hoel-gjodsling-i-korn-n-sensor-15-mars-2022.pdf>].
- Kaplan, G., & Avdan, U. (2017). Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. *European Journal of Remote Sensing*, *50*, 137–143. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1297540>

- Korsæth, A., Lindgaard, H. J., Veidal, A., & Asheim, L. J. (2019). Utbredelse og potensiell økonomisk og miljømessig nytteverdi med presisjonsjordbruk i Norge. *NIBIO rapport*.
- Kufoalor, B. A. K. (2018). *Investigation of the physiological basis of yield differences in Norwegian spring wheat* [Masteroppgave, Norwegian University of Life Sciences, Ås].
- Lied, L. M. B. (2019). *Multispectral image analysis of spring wheat using UAV and machine learning* [Masteroppgave, Norwegian University of Life Sciences, Ås].
- Norwegian University of Life Sciences (NMBU). (2024). Friland. <https://www.nmbu.no/forskning/friland>
- Nørgaard, E., Rognerud, L. M., & Storrud, A. E. (2018). Indikatorer til FN's Bærekraftsmål. Kartlegging av tilgjengelig statistikk i Norge for måling av FN's bærekraftsmål.
- OpenAI. (2024a). ChatGPT (April 29 version) [[Large language model]]. <https://chatgpt.com/>
- OpenAI. (2024b). ChatGPT (April 30 version) [[Large language model]]. <https://chatgpt.com/>
- Planet Labs PBC. (2023 desember). *Planet Imagery Product Specifications* [Hentet: 2023-05]. Planet Labs PBC. San Francisco, CA. https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Spec_letter_screen.pdf
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119–126.
- Salaria, S. (2023). Super-Resolution Convolutional Neural Network for Image Restoration [Hentet: 2024-05-13]. <https://medium.datadriveninvestor>.

com/using-the-super-resolution-convolutional-neural-network-for-image-restoration-ff1e8420d846

Sentinel Hub EO Browser [Hentet: 2024-05-13]. (udatert). <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

Shafiee, S. (2023). Field Phenotyping with UAV platforms [forelesningnotatet er privat og ikke offentlig tilgjengelig. Kun de som deltok på ”NOVA course 2023 - High-throughput field phenotyping and vegetation mapping” har tilgang til pdf-dokumentet. Ved behov kan forelesningsnotatet hentes av professor Sahameh Shafiee].

Statens vegvesen, S. k., Norsk institutt for Bioøkonomi (NIBIO). (2023). *Norge i Bilder*. <https://www.norgebilder.no/?x=598773&y=6614955&level=14&utm=32&projects=4166&layers=&plannedOmlop=0&plannedGeovekst=0>

Söderström, M., Nissen, K., Gustafsson, K., Börjesson, T., Jonsson, A., Wijkmark, L., mfl. (2004). Swedish farmers' experiences of the Yara N-sensor 1998-2003. *Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and other Precision Resources Management*.

Söderström, M., Stadig, H., Martinsson, J., Piikki, K., & Stenberg, M. (2016). CropSAT—a public satellite-based decision support system for variable-rate nitrogen fertilization in Scandinavia. *Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture (unpaginated, online)*. Monticello, IL: International Society of Precision Agriculture.

Söderström, M., Stadig, H., Martinsson, J., Persson, K., & Stenberg, M. (2016). CropSAT – A public satellite-based decision support system for variable-rate nitrogen fertilization in Scandinavia. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13250.99520>

- Wolters, S., Söderström, M., Piikki, K., Reese, H., & Stenberg, M. (2021). Upscaling proximal sensor N-uptake predictions in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) with Sentinel-2 satellite data for use in a decision support system. *Precision Agriculture*, *22*, 1263–1283.
- Zabalza, J. (2015 juni). *Feature extraction and data reduction for hyperspectral remote sensing Earth observation* [Doktoravhandling].
- Øverland, J. I., & Havstad, L. T. (2021). Presisjonsdelgjødning i Grindstad timoteifrøeng ved bruk av CropSat. *Jord-og plantekultur 2021 Forsøk i korn, olje-og belgvekster, engfrøavl og potet 2020*.

A Appendiks

A.1 Referat av intervju

Mail sendt: 24.03.2024 kl. 20:54

Mail mottatt: 25.03.2024 kl. 21:25

Fyll inn følgende opplysninger som:

- **Navn på gården:** «Kjølstad Gård og Skoftestad Gård»
- **Adresse:** «Kjølstadveien 3 og Drøbakveien 401»
- **Type gårdsdrift:** «Korn som drives Karbon Agro»
- **Arealet på gården (i hektar):** «150 Hektar fordelt på de to gårdene og 290 hektar forpaktet jord»

Spm 1: Hvilken form for teknologi benytter dere til å overvåke avlingstilstanden? Satellittbilder, droner eller annet [gjerne spesifisere]

Svar 1: «Bruker avlingsregistrering på tresker, bruker noe cropssat, men mest Yara N sensor. N sensoren scanner i sanntid når man først er ute å kjører.»

Spm 2: Dersom gården deres benytter drone for å overvåke avlingstilstand: hva er nåværende utfordringene dere står ovenfor?

Svar 2: «Bruker ikke drone, har tilgang til en vanlig drone, men da har vi heller scannet med n sensor om vi lurer på noe.»

Spm 3: Dersom gården deres benytter satellittbilder for å overvåke avlingstilstand: hva er nåværende utfordringer dere står ovenfor?

Svar 3: «Eventuelle værutfordringer som gjør at satelittene ikke får tatt ferske nok bilder. Er det en lang periode med dårlig vær vil man ikke få oversikt»

Spm 4: Dersom gården deres benytter andre typer teknologi enn det som er nevnt: hva er nåværende utfordringer dere står ovenfor?

Svar 4: «Yara N sensor. Kjøres og scannes som regel samtidig som man er ute å kjører, men begrenser litt området som blir scannet om man skal spre på 36 meter. Da blir et område på ca 3x3 meter på hver side litt dårlig noen ganger.»

Spm 5: Hvor viktig er det med stedsnøyaktighet ved tildeling av gjødsling, frøsåing, plantevernmidler osv.. for dere?

Svar 5: «Veldig viktig, det kan være store variabler innenfor små arealer.»

Spm 6: Hvordan ser dere for dere at høyoppløsningsdata på 1m fra maskinlæring kan hjelpe gården deres ovenfor nåværende utfordringer?

Svar 6: «Det vil jo være positivt, men det er jo en utfordring med å få utført det ned på 1 meters nøyaktighet med blant annet gjødselspreder og såmaskin f.eks. i og med at arbeidsbreddene øker. I tillegg vil det være vanskelig å regulere mengde på mindre bredder som en meter.»

Spm 7: Hvilken metode [satellittbilder, droner eller maskinlæring] ville ha vært mest gunstig og enklest for dere å implementere for å ta beslutninger og estimere avlingsvekst?

Svar 7: «Tja, si det, muligens maskinlæring i og med at vi har mye gps på redskap og traktorer fra før av. Cropsat er jo gratis, så det også er jo ganske enkelt å bruke. Drone bruker vi noen ganger, men ikke veldig ofte. Vi har vurdert drone for spredning av frø, men dette har det ikke blitt noe av enda.»

A.2 Spesifikasjoner - kalibreringsplate

	P4M file ending	P4M central wavelength	new panel	old panel_micasense
Blue	1	450	0.54329	0.58200
Green	2	560	0.54389	0.59210
Red	3	650	0.54260	0.65700
RedEdge	4	730	0.54092	0.58980
NIR	5	840	0.53788	0.55890

A.3 Feltlogg fra feltarbeid 2023

Feltarbeid loggføring 23.06.2023 - 24.09.2023

OBS: Mistet data for Polygon A kl. 11:00 og 13:00 den 23.06.2024 pga trykket på format microSD card på DJI P4. Noen som gjorde at dataene på microSD kortet ble slettet.

23.06.2023 (ikke sentinel 2 opptaksdato) kontrollmåling 1 kl. 11:00 CEST polygon A

Areal: 0.60 Ha flyplan

Flytid: 5 min 54s
11:28 - 11:36 CEST

Kalibring: Sphereoptics (store platen)

Flyhøyde: 50 moh
Oppløsning: 2.6 cm/pix
Front overlap (F): 80%, Side overlap (S): 75%
Course angle: 118 grader

Vær: sol og skyfritt 21 C
Vind: 3 (8) m/s

Ⓞ Været nå



Sol meridian: 13:19 CEST

Fart 2,3 m/s

3,0 s intervall camera ved equal dist. interval

Kommentar:

Hadde på NDVI-viewer i starten som gjør at RGB-filen som skulle vises som RGB vises som NDVI (i dette tilfelle vistes rød som høy vegetasjon og grønn lav vegetasjon). Når man gjør dette vil det vises i NDVI i sluttresultat. Derfor kjørte ny måling, denne gangen med RGB-viewer.

Hadde tenkt å fly rundt kl. 11:00 CEST (2 timer før- og etter sentinel 2 opptakstid), men pga av andre droneflyvere i nærheten var det kø. Noe som gjorde at målingen startet kl. 11:28 CEST. Skulle hatt F: 85% og S: 70%. Hadde istedet F: 80% og S: 75%

23.06.2023 (ikke sentinel 2 opptaksdato) kontrollmåling 2 kl. 13:00

CEST polygon A

Areal: 0.60 Ha flyplan

Vær: sol og skyfritt 22C

Vind: 3 (7) m/s

Kalibring: Sphereoptics (store platen)

Flyhøyde 50 moh

Oppløsning 2.6 cm/px

I dag 23. juni



 Pågår: Skogbrannfare
Gult nivå 

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		22°		3 (7) →	Svak vind fra nordvest med vindkast på 7 m/s
14		24°		2 (7) →	Svak vind fra vest med vindkast på 7 m/s

Kommentar: Burde prøve andre området utenfor testfeltet (polygon A) ved Vollebekk da dette område innen polygon er et kontrollert, homogent og lite området.

Prøv dette område B istedet for lørdagen. Og bruk polygon A (homogene området) som kontrollmåling.

Problemer: finnes få naturlige GCP områder ved polygon B.

Spør eieren om det er tillatt å sette på GCP-plater (kontakt NMBU-ansatt og bonde Glenn) eller liknende. Deretter benytte RTK/GNSS i etterkant på mandag 26. juni for å måle GCP-punktene.

Vær: Sol og skyfritt 22 C

Vind: 3(7) m/s

23.06.2023 (ikke sentinel 2 opptaksdato) måling 1 kl. 15:00 CEST

Polygon B

Areal: 0.93 Ha flyplan

Flytid: 10 min 25 s

15:44 - 15:55 CEST

Kalibring: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibring)

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning: 2,6 cm/pix

Fart: 1,8 m/s

Vær: Sol og skyfritt 24 C

Vind: 3(7) m/s

F: 85%, S: 70%

Equal dist interval - shutter interval 3,0 s

119 grader course angle

I dag 23. juni

 Pågår: Skogbrannfare Gult nivå					
Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
15		24°		3 (7) →	Svak vind fra vest med vindkast på 7 m/s
16		25°		3 (7) →	Svak vind fra vest med vindkast på 7 m/s

24.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) måling 1 kl. 10:00 CEST Polygon B

Areal: 0.93 Ha flyplan
Flytid: 09 min 47s
09:56-10:05 CEST
10:11-10:22 CEST

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Vær: få skyer (cirrus skyer), 19 grader
Vind: 1 (5) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

I dag 24. juni

 Pågår: Skogbrannfare Gult nivå					
Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
10		19°		1 (5) ←	Flau vind fra øst med vindkast på 5 m/s
11		20°		1 (4) ↙	Flau vind fra nordøst med vindkast på 4 m/s

Kommentar: måtte vente til kl. 10:11 å fly da det var litt skyer over området.

Tok 2 målinger på nær samme tidspunkt fordi den første måling var overskyet. skyen var tynt nok til man kunne fortsatt se sola, men solbelysning varierte når skyen passerte. Mens den andre måling var mer skyfritt. Glemte å ta bilde av kalibreringen før flyvningen på den andre målingen, men tok bildet av kalibrering på slutten av flyvningen.

24.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) kontrollmåling 1 kl. 12:00 CEST Polygon A

Flytid: 5 min 49 s
11:50 - 11:56 CEST
Areal: 0.60 Ha flyplan

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 2,3 m/s

Vær: Skyfritt og sol, 22 C

Vind: 0 (4) m/s

F: 85% , S: 70%

Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

118 grader course angle

I dag 24. juni



Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
11		21°		1 (4) ↙	Flau vind fra nordøst med vindkast på 4 m/s
12		23°		0 (4)	Stille med vindkast på 4 m/s
13		24°		1 (5) ↘	Flau vind fra nordvest med vindkast på 5 m/s

24.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) måling 2 kl. 13:00 CEST Polygon B

Areal: 0.93 Ha flyplan

Flytid: 9 min 18 s

13:00 - 13:09 CEST

Kalibering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibering)

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning 2,6 cm/px

Fart: 1,8 m/s

Vær: Skyfritt og sol (23 grader)

Vind: 1 (5) m/s

F: 85% , S: 70%

Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

119 grader course angle

Sentinel 2A nyeste opptak kl. 12:45 CEST (10:45 UTC)

Sol meridian: 13:19 CEST. Prøvde å dronemåle rundt når solen står høyest.

I dag 24. juni



 Pågår: Skogbrannfare
Gult nivå

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		23°		1 (5) ↘	Flau vind fra nordvest med vindkast på 5 m/s
14		24°		2 (6) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 6 m/s

Kommentar: prøvde å måle akkurat samme tid som Sentinel 2A passerte. Skyfri himmel. Perfekt vær for droneflyvning.

24.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) måling 3 kl. 16:00 CEST

Polygon B

Areal: 0.93 Ha flyplan

Flytid: 9 min 54s

15:59-16:08 CEST

Kalibering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibering)

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning 2,6 cm/px

Fart: 1,8 m/s

Vær: skyfritt og sol, 24 C

Vind: 3(7) m/s

F: 85% , S: 70%

Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

119 grader course angle

I dag 24. juni

 Pågår: Skogbrannfare
Gult nivå

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
16		24°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s
17		24°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s

Kommentar: perfekt vær den dagen for droneflyvning.

26.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) kontrollmåling kl. 12 CEST polygon A

Flytid: 5 min 49 s
12:07 - 12:13

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)


Areal: 0.60 Ha flyplan


Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 1,7 m/s
F: 85%, S: 70%

Vær: Skyfritt og sol, 25 C
Vind: 1(5) m/s
Course angle: 118 grader

I dag 26. juni ✕

 Pågår: Skogbrannfare
Gult nivå ▾

 Ventes: Mye lyn
Gult nivå ▾

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
12		25°		1 (5) 	Flau vind fra øst med vindkast på 5 m/s
13		26°		3 (8) 	Svak vind fra sørøst med vindkast på 8 m/s

Kommentar: Skulle måle kl. 12. Var skyfritt og sol så perfekt mulighet å dronemåle. Men av en eller annen grunn så mistet jeg dataet for dronemålingen. Kunne ha målet senere på dagen men det ble med tordenbyger, så ikke ideelt. Satser på å måle igjen polygon A på onsdag 28.06.2026 når det er sol og skyfri.

Ideelt sett ville 29. jun 2023 vært bedre siden det er samme dato som nyeste Sentinel 2A data (29. jun 2023), men den dagen er meldt regn og overskyet. Så kan nok ikke bruke Sentinel 2A data for 29. jun 2023. Men kan fortsatt benytte dronemålingen dagen før.

26.06.2023 (sentinel 2 opptaksdato) kontrollmåling kl. 13 CEST polygon B

Areal: 0.93 Ha flyplan

Flytid: 9 min 48 s
12:30 - 12:40 CEST

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Vær: Litt overskyet, men ellers sol. 26 C.
Vind: 3(8) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

I dag 26. juni ×

 Pågår: Skogbrannfare
Gult nivå ∨

 Ventes: Mye lyn
Gult nivå ∨

Tid	Vær	Temp	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		25°		2 (6) 	Svak vind fra sørøst med vindkast på 6 m/s
14		25°		3 (6) 	Svak vind fra sørøst med vindkast på 6 m/s

Kommentar: I starten så det skyfritt, men litt overskyet (cumulus). Prøvde å måle når det var skyfritt og sol. Men underveis i målingen dukket det opp skyer. Så det ble variende sol under målingen.

Var ikke mulig å måle senere på grunn av det skulle komme tordenbyger. Variende sol kan påvirke resultatet og ortomosaikken på ortomosaikken.

Ny dronemåling 28. jun 2023 når det er meldt sol og skyfritt. Ideelt sett ville 29. jun 2023 vært bedre siden det er samme dato som nyeste Sentinel 2A data (29. jun 2023), men den dagen er meldt regn og overskyet. Så kan nok ikke bruke Sentinel 2A data for 29. jun 2023. Men kan fortsatt benytte dronemålingen dagen før.

28.06.2023 RTK/GNSS måling polygon B kl. 11 CEST

Utstyr: Topcon
Type: Nettverks-RTK (CPOS)
Stanghøyde: 2.000 m
Receiver høyde: 55.2 mm (0.0552 m)
Korreksjoner: VRS
Protokoll: NTRIP 2.0/1.0
Navn. CPOS Hiper VR sim FC

Projeksjon: NORWAY-EUREF89 UTM 32
Datum: WGS84
Geiodemodell: HREF2018_B_NN2000_EUREF89

Antennehøyde => 2.000 m + 0.0552 m = 2.0552 m

RTK/GNSS - målinger: GCP1, GCP2, GCP3, GCP4 & GCP ved Polygon B i bildet vist:

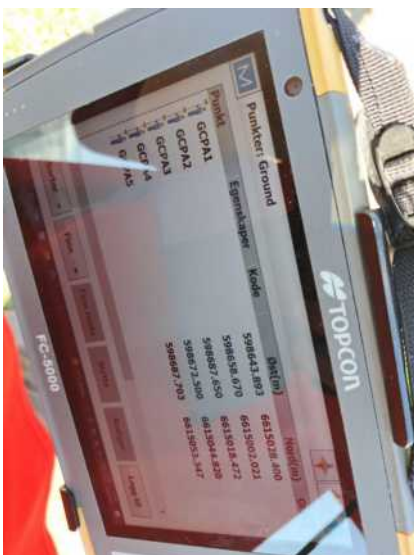


Vær: sol og skyfritt 24 grader

I dag 28. juni

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
11		24°		2 (5) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 5 m/s
12		24°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s

Kommentar: Fikk låne paller som bonden Glenn la ut i de GCP-punktene vist. Skulle male over med X-kryss i midten for hver palle. Men etter en dronemåling var det bedre å måle kanten ved hver GCP- paller, siden malingen vistest dårlig ved 50 m flyhøyde. Derfor er koordinatene til GCP1 til GCP5 målt ved kantene.



28.06.2023 kontrollmåling Polygon A kl. 12 CEST

Flytid: 5 min 50s

12:42-12:47

Kalibrering: Sphreoptics (store platen)

Areal: 0.60 Ha flyplan

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning: 2,6 cm/px

Fart: 1,7 m/s

F: 85%, S: 70%

Vær: Skyfritt og sol, 25 C

Vind: 3(7) m/s

Course angle: 118 grader

I dag 28. juni

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
12		25°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s
13		25°		3 (8) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 8 m/s

28.06.2023 polygon B kl. 13 CEST

Areal: 0.93 Ha flyplan

Flytid: 9 min 46 s

13:26 - 13:34 CEST

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning 2,6 cm/px

Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Sphereoptics (store platen)

Vær: Skyfritt og sol. 25 C.

Vind: 3(8) m/s

F: 85% , S: 70%

Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

119 grader course angle

I dag 28. juni

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		24°		3 (8) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 8 m/s
14		25°		4 (9) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 9 m/s

19.07.2023 Polygon B kl. 13 CEST



Flytid: 9:48 min
13:48 - 13:56 CEST

Areal: 0.93 Ha
Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Sphereoptics (store platen)

Vær: Overskyet (cirrostratus)
Vind: 4(8) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

I dag 19. juli

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
15		17°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s
16		18°		3 (8) →	Svak vind fra vest med vindkast på 8 m/s

Kommentar: ventet med dronemåling til det var sol rundt kl. 13. Rett før måling dukket det opp skyer (men skyen var tynt nok til å kunne se solen). Selv om tanken var å måle under skyfritt himmel kan det også en fordel da den tynne skyen var uniform og konsistent. Dermed slapp man tydelige skygger under måling.

19.07.2023 polygon A kl. 14 CEST

Flytid: 5:47 min
14:07 - 14:13 CEST



Kalibrering: Sphreoptics (store platen)

Areal: 0.60 Ha flyplan

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 1,7 m/s
F: 85%, S: 70%

Vær: Overskyet
Vind: 4(8) m/s
Course angle: 118 grader

I dag 19. juli

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
15		17°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s
16		18°		3 (8) →	Svak vind fra vest med vindkast på 8 m/s

Kommentar: Overskyet

20.07.2023 Polygon A kl. 12 CEST

Flytid: 5:47 min
11:47 - 11:52 CEST

Kalibrering: Sphereoptics (store platen)

Areal: 0.60 Ha

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 1,7 m/s
F: 85%, S: 70%

Vær: Sol og skyfritt
Vind: 3(7) m/s
Course angle: 118 grader

I dag 20. juli

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
11		18°		3 (7) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 7 m/s
12		19°		3 (7) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 7 m/s
13		20°		3 (7) ↘	Svak vind fra vest med vindkast på 7 m/s

20.07.2023 Polygon B kl. 13 CEST

Flytid: 9:45 min
12:53-13:02 CEST

Areal: 0.93 Ha
Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Sphereoptics (store platen)

Vær: Sol og litt cumulus skyer
Vind: 3(7) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

I dag 20. juli

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
11		18°		3 (7) →	Svak vind fra nordvest med vindkast på 7 m/s
12		19°		3 (7) →	Svak vind fra nordvest med vindkast på 7 m/s
13		20°		3 (7) →	Svak vind fra vest med vindkast på 7 m/s

21.07.2023 Polygon B kl. 13 CEST

Flytid: 9:41 min
13:02-13:12 CEST

Areal: 0.93 Ha
Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Sphereoptics (store platen)

Vær: delvis overskyet
Vind: 2(5) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

119 grader course angle

I dag 21. juli ✕

Ventes: Styrregn
Gult nivå ▼

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
14		20°		2 (5) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 5 m/s
15		20°		2 (6) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 6 m/s

Kommentar: Variende lysforhold under dronermåling pga. skyer.

21.07.2023 Polygon A kl. 12 CEST kontrollmåling

Flytid: 5:59 min

13:23-13:29 CEST

Kalibrering: Sphereoptics (store platen)

Areal: 0.60 Ha

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning: 2,6 cm/px

Fart: 1,7 m/s

F: 85%, S: 70%

Vær: delvis overskyet

Vind: 2(5) m/s

Course angle: 118 grader

I dag 21. juli ✕

Ventes: Styrregn
Gult nivå ▼

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
14		20°		2 (5) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 5 m/s
15		20°		2 (6) ↘	Svak vind fra nordvest med vindkast på 6 m/s

Kommentar: variende lysforhold under dronemåling pga. skyer.

23.08.2023 Polygon B kl. 13 CEST

Flytid: 9:18 min
13:49-13:57 CEST

Areal: 0.93 Ha
Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Spherooptics (store platen)

Vær: overskyet
Vind: 2(5) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

Kommentar: måtte vente 1 time pga. mørke skyer og sterk vind. Variende lysforhold under dronemåling. Glemte å laste ned værdata fra Yr.no før måling. Derfor ble det ikke vist noe bilder under.

23.08.2023 Polygon A kl. 14 CEST

Flytid: 6:18 min
14:09-14:15 CEST

Areal: 0.60 Ha

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 1,7 m/s
F: 85%, S: 70%

Vær: delvis overskyet
Vind: 2(5) m/s
Course angle: 118 grader

Kalibrering: Spherooptics (store platen)

Kommentar: variende lysforhold under måling pga skyer. Samt mørke skyer. Glemte å laste ned værdata fra Yr.no før måling.

04.09.2023 Polygon B kl. 13 CEST




Flytid: 9:18 min
12:55 - 13:06 CEST

Areal: 0.93 Ha
Flyhøyde: 50 m
Oppløsning 2,6 cm/px
Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibring)

Vær: skyfritt
Vind: 3(7) m/s
F: 85% , S: 70%
Equal dist interval - shutter interval: 3,0s
119 grader course angle

I dag 4. september

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		23°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s
14		24°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s
15		24°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s

Kommentar: En del ugrass observert i åkeren. Kan påvirke resultatet. Dronen måtte stoppe underveis pga sterk vind. Påvirket resultatet i og med at det er to opptaksfiler når før dronen måtte stoppe og etter ved mappa. Kan påvirke etterprosesseringen med duplikatfiler.

04.09.2023 Polygon A kl. 14 CEST kontrollmåling

Flytid: 5 min 47 s
14:58 - 15:05 CEST




Areal: 0.60 Ha

Flyhøyde: 50 m
Oppløsning: 2,6 cm/px
Fart: 1,7 m/s
F: 85%, S: 70%

Vær: skyfritt
Vind: 4(8) m/s
Course angle: 118 grader

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibring)

I dag 4. september

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
13		23°		3 (7) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 7 m/s
14		24°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s
15		24°		4 (8) ↗	Lett bris fra sørvest med vindkast på 8 m/s

Kommentar: Måtte vente 2 timer til dronemåling pga. traktorkjøring i området. Sterk vind under måling tross skyfritt vær.

24.09.2023 Polygon B kl. 11 CEST

Flytid: 9:48 min

11:18-11:27 CEST

Areal: 0.93 Ha

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning 2,6 cm/px

Fart: 1,8 m/s

Kalibringsplate: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)

Vær: skyfritt

Vind: 2(4) m/s

F: 85% , S: 70%

Equal dist interval - shutter interval: 3,0s

119 grader course angle

I dag 24. september



Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
11		12°		2 (4) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 4 m/s

Kommentar:

Bonden har høstet inn åkeren før dronemåling den 24. sep.

Bonden har fjernet GCP-punktene (paller) som gjør at det vil påvirke resultatet av georefereringen. Noe som ble ikke informert om.

Skulle måle 3 målinger ved polygon B siden idag er opptaksdato for sentinelmåling. En kl. 11 CEST, kl. 13 CEST og kl. 15 CEST for å evaluere variasjon i GIS-kart før, under og etter opptakstid fra Sentinel 2A data den dagen. Siden GCP punktene er fjernet vil resultatet uansett påvirkes negativt, så holdt til kun én måling. Og på grunn av tidsbegrensinger den dagen.

24.09.2023 Polygon A kl. 12 CEST kontrollmåling

Flytid: 6:16 min

11:41-11:47 CEST

Areal: 0.60 Ha

Flyhøyde: 50 m

Oppløsning: 2,6 cm/px

Fart: 1,7 m/s

F: 85%, S: 70%

Vær: skyfritt

Vind: 2(4) m/s

Course angle: 118 grader

Kalibrering: Micasense (lille platen med innebygd QR-kode for radiometrisk kalibrering)

I dag 24. september

Tid	Vær	Temp.	Nedbør mm	Vind(kast) m/s	Vindbeskrivelse
12		14°		2 (4) ↗	Svak vind fra sørvest med vindkast på 4 m/s

Kommentar:

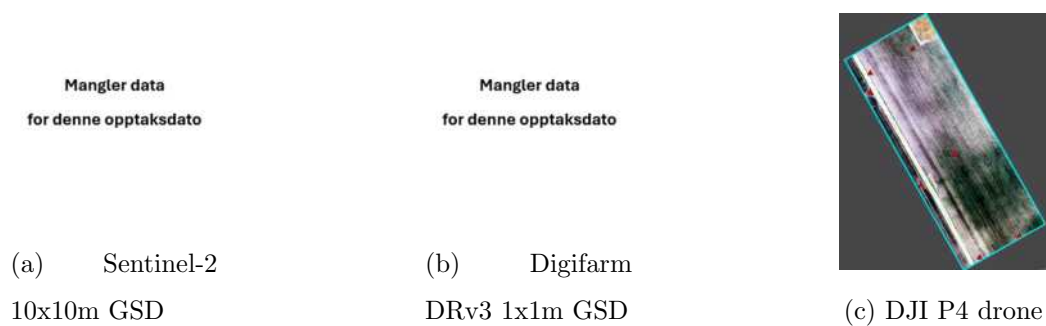
Bonden har høstet inn åkeren før måling.

Bonden har fjernet GCP-punktene (plater) som vil påvirke resultatet av georefereringen.

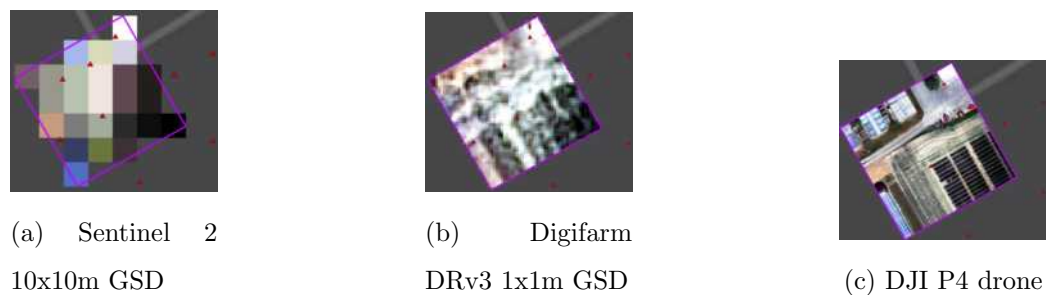
Man kan fortsatt se hullet gravd opp fra GCP-platene, så man kan evt. bruke det som referanse.

Skulle måle 3 kontrollmålinger siden idag er opptaksdato for sentinelmåling. En kl. 11 CEST, kl. 13 CEST og kl. 15 CEST for å evaluere variasjon i GIS-kart før, under og etter opptakstid fra Sentinel 2A data den dagen. Siden GCP punktene er fjernet vil resultatet uansett påvirkes negativt, så holdt til kun én måling. Og på grunn av tidsbegrensinger den dagen.

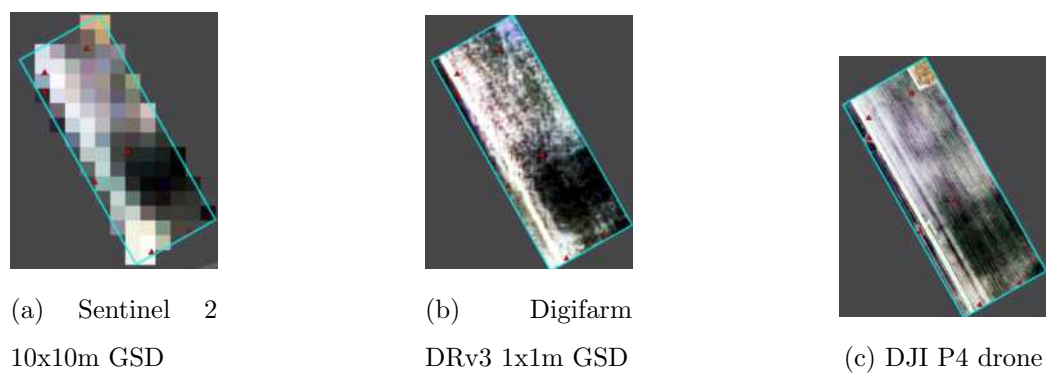
A.4 RGB - alle resultater



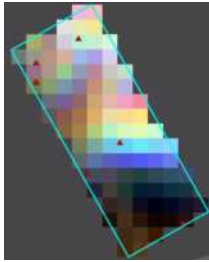
Figur 67: Polygon B - 23.06.2023



Figur 68: Polygon A - 24.06.2023



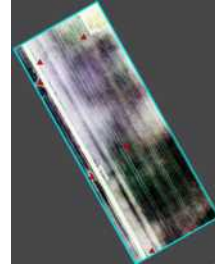
Figur 69: Polygon B - 24.06.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD
[NB: overskyet]

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

Figur 70: Polygon B - 26.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

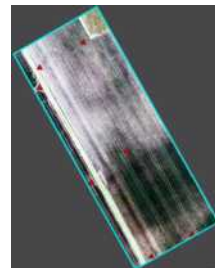
Figur 71: Polygon A - 28.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

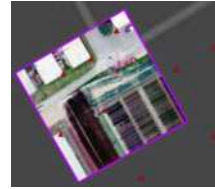
Figur 72: Polygon B - 28.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

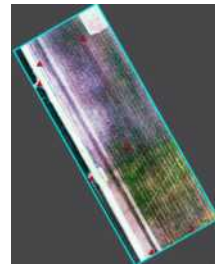
Figur 73: Polygon A - 19.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

Figur 74: Polygon B - 19.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

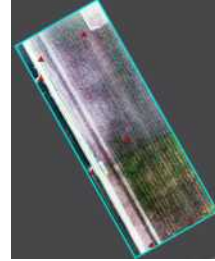
Figur 75: Polygon A - 20.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel 2
10x10m GSD

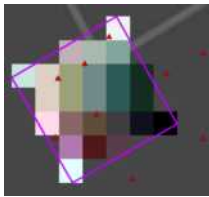
**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

Figur 76: Polygon B - 20.07.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

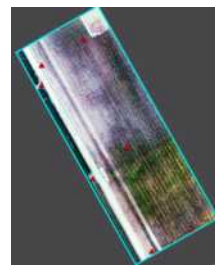
Figur 77: Polygon A - 21.07.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

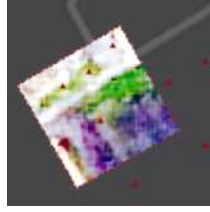


(c) DJI P4 drone

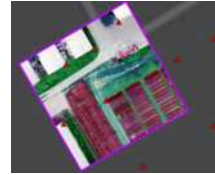
Figur 78: Polygon B - 21.07.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD

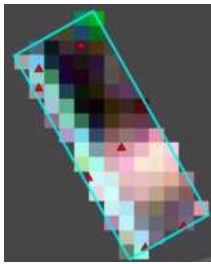


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

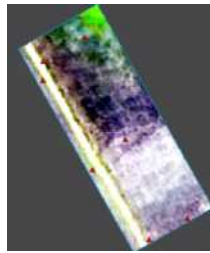


(c) DJI P4 drone

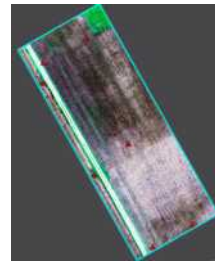
Figur 79: Polygon A - 23.08.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD



(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

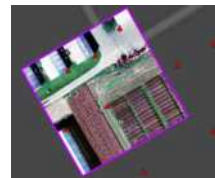
Figur 80: Polygon B - 23.08.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD

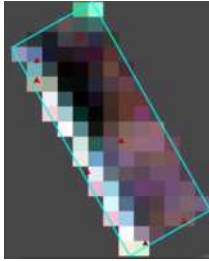


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

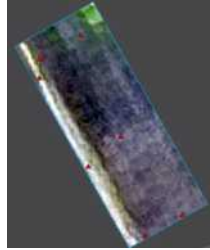


(c) DJI P4 drone

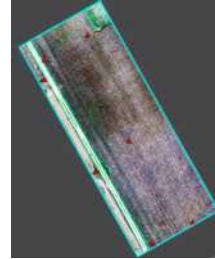
Figur 81: Polygon A - 04.09.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD

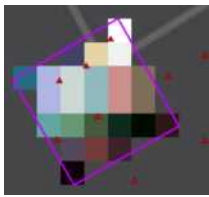


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

Figur 82: Polygon B - 04.09.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD



(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

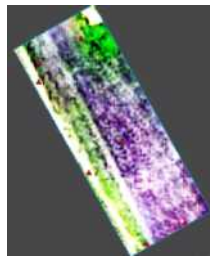


(c) DJI P4 drone

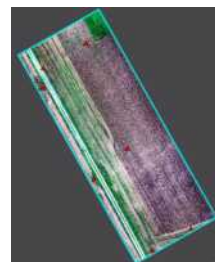
Figur 83: Polygon A - 24.09.2023



(a) Sentinel 2
10x10m GSD



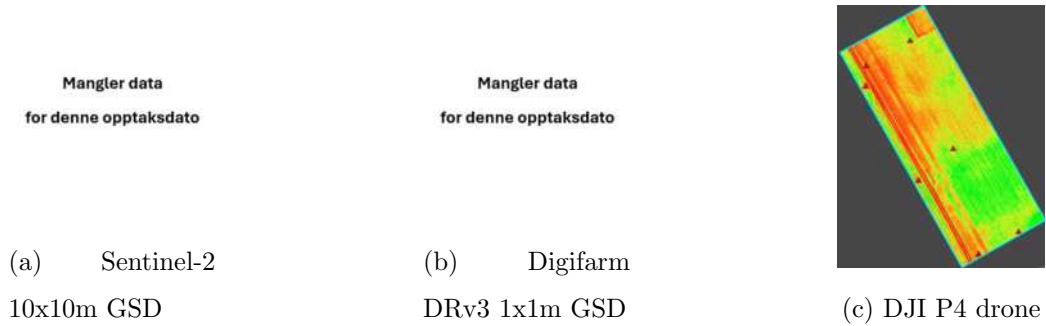
(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



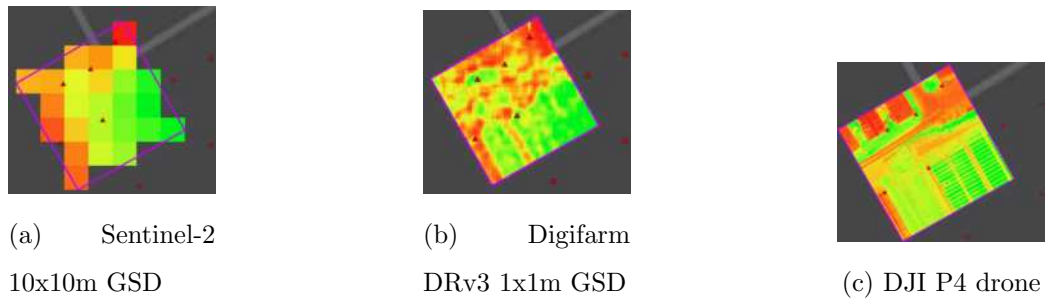
(c) DJI P4 drone

Figur 84: Polygon B - 24.09.2023

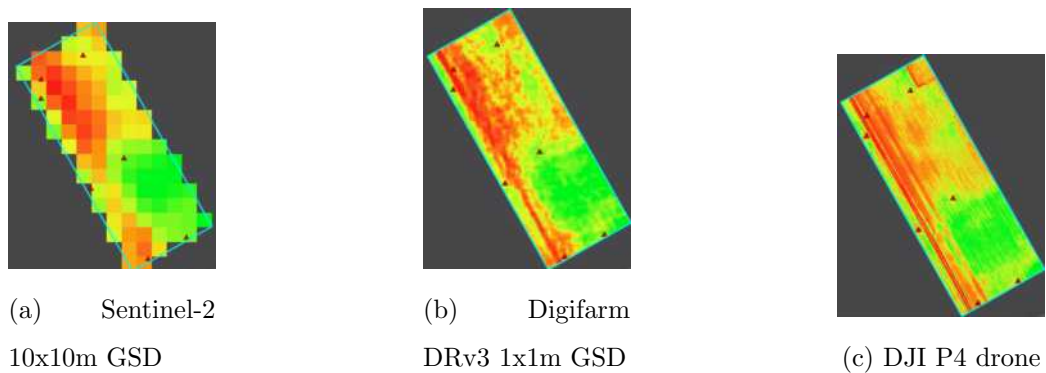
A.5 MSAVI2 - alle resultater



Figur 85: Polygon B - 23.06.2023



Figur 86: Polygon A - 24.06.2023



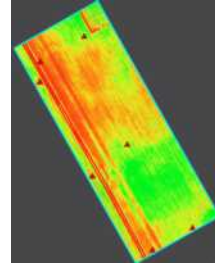
Figur 87: Polygon B - 24.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

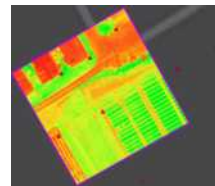
Figur 88: Polygon B - 26.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

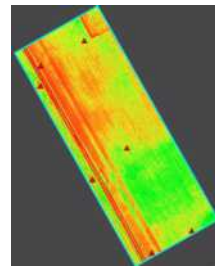
Figur 89: Polygon A - 28.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

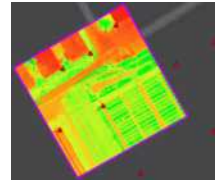
Figur 90: Polygon B - 28.06.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

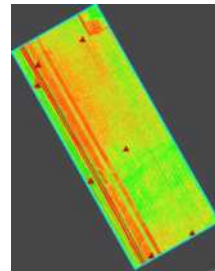
Figur 91: Polygon A - 19.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

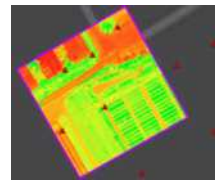
Figur 92: Polygon B - 19.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

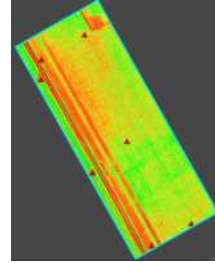
Figur 93: Polygon A - 20.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

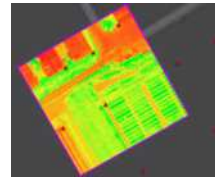
Figur 94: Polygon B - 20.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

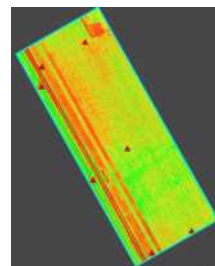
Figur 95: Polygon A - 21.07.2023

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(a) Sentinel-2
10x10m GSD

**Mangler data
for denne opptaksdato**

(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

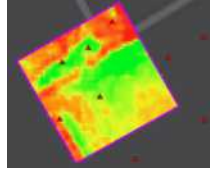


(c) DJI P4 drone

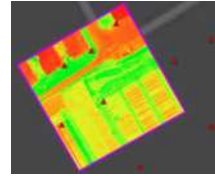
Figur 96: Polygon B - 21.07.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD

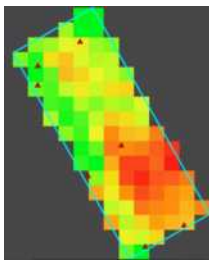


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

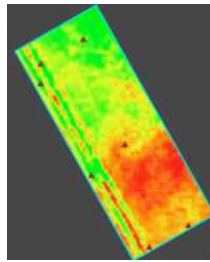


(c) DJI P4 drone

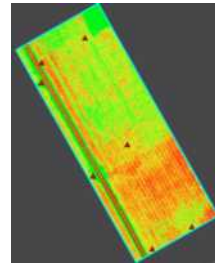
Figur 97: Polygon A - 23.08.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD



(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

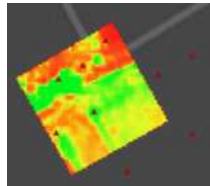


(c) DJI P4 drone

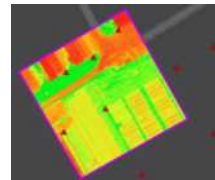
Figur 98: Polygon B - 23.08.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD

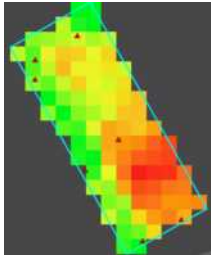


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

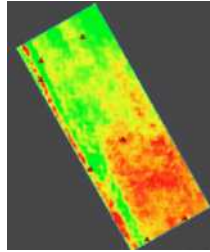


(c) DJI P4 drone

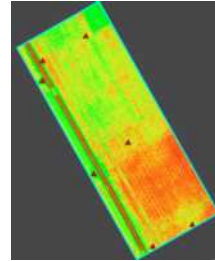
Figur 99: Polygon A - 04.09.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD

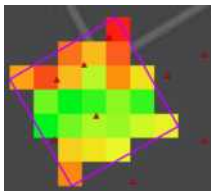


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

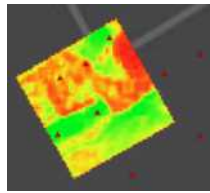


(c) DJI P4 drone

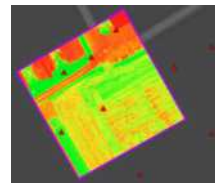
Figur 100: Polygon B - 04.09.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD

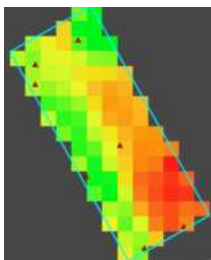


(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD

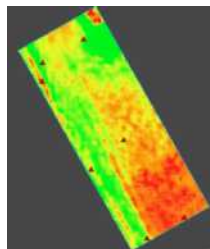


(c) DJI P4 drone

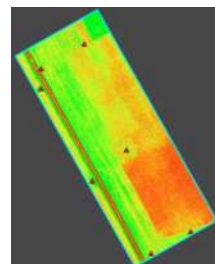
Figur 101: Polygon A - 24.09.2023



(a) Sentinel-2
10x10m GSD



(b) Digifarm
DRv3 1x1m GSD



(c) DJI P4 drone

Figur 102: Polygon B - 24.09.2023

A.6 Topcon GCP Polygon A & B rapport

Tabell 20: GCP (plater, men takhjørner ekskludert) Polygon A fra Topcon

Punktnavn	East	North	Height (or-to)	Height (geoide)	PDOP	Horisontal RMS (m)	Vertikal RMS (m)	Antall satellitter
GCPA1	598643.893	6615028.400	82.242	82.242	1.043	0.002	0.004	23
GCPA2	598658.670	6615002.021	81.721	81.721	1.041	0.002	0.003	23
GCPA3	598687.650	6615018.472	81.420	81.420	1.037	0.002	0.003	23
GCPA4	598672.500	6615044.820	82.180	82.180	1.056	0.002	0.004	22
GCPA5	598687.703	6615053.347	81.990	81.990	1.023	0.002	0.003	23

Tabell 21: GCP (paller og naturlige punkter) Polygon B fra Topcon

Column1	East	North	Height (or- to)	Height (geiode)	PDOP	Grunnriss RMS (m)	Vertikal RMS (m)	Antall satellitter
GCP1	598586.339	6614924.182	80.091	80.091	1.301	0.002	0.004	21
GCP2	598656.632	6614805.954	85.377	85.377	1.237	0.003	0.004	20
GCP3	598681.894	6614819.944	84.994	84.994	1.324	0.002	0.004	20
GCP4	598613.880	6614940.002	80.438	80.438	1.127	0.002	0.003	22
GCP5	598640.826	6614872.232	80.316	80.316	1.241	0.003	0.004	21
GCP6	598619.034	6614852.288	80.525	80.525	1.128	0.003	0.004	22
GCP7	598586.213	6614911.511	79.673	79.673	1.113	0.002	0.004	22

A.7 ChatGPT 4.0 prompt April 29 version

Find research papers from Google Scholar regarding improving spatial resolution of Sentinel-2 satellite data from deep learning methods for the use of precision agriculture



Consensus

Talked to chat.consensus.app

Here are some research papers focusing on improving the spatial resolution of Sentinel-2 satellite data using deep learning methods for precision agriculture:

- 1. Sentinel-2 Images at 2.5m Spatial Resolution via Deep-Learning: A Case Study in Zakythnos**
This paper demonstrates the application of deep-learning based super-resolution (SR) techniques to increase the spatial resolution of Sentinel-2 images to 2.5 m/pixel. A novel index called Normalized Carotenoid Reflectance Index (NCRI) is used for assessing land cover by olive trees ([Panagiotopoulou et al., 2022](#)).
- 2. Learning Super-Resolution for Sentinel-2 Images with Real Ground Truth Data from a Reference Satellite**
This paper focuses on enhancing the spatial resolution of Sentinel-2's 10m RGB and near-infrared bands to 2.5m, using Convolutional Neural Networks and leveraging images from other sensors with similar spectral bands but greater spatial resolution ([Galar et al., 2020](#)).
- 3. Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using Convolutional Neural Networks and Real Ground Truth Data**
This study addresses the problem of enhancing the spatial resolution of Sentinel-2's 10m bands to 5m or 2.5m using a reference satellite to create image pairs at source and target resolutions for training a deep learning model ([Galar et al., 2020](#)).
- 4. Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using a Spectral Attention Mechanism**
Implements a deep learning model named SARNet (Spectral Attention Residual Network) to increase the resolution of Sentinel-2 RGBN bands from the original 10 m to 2.5 m. The model uses Residual Channel Attention Blocks (RCAB) to enhance network performance and visual quality of the super-resolved images ([Zabalza & Bernardini, 2022](#)).
- 5. A Comparison of Deep Learning-Based Super-Resolution Frameworks for Sentinel-2 Imagery in Urban Areas**
Compares several deep learning models like EDSR, ESRGAN, RFDN, and SRCNN for their effectiveness in improving the spatial resolution of Sentinel-2 imagery. RFDN was found to outperform others in terms of visual quality and quantitative metrics ([Seydi & Arefi, 2023](#)).

These papers showcase the application of deep learning to enhance the spatial resolution of Sentinel-2 data, which can significantly aid in precision agriculture by providing more detailed imagery for monitoring crop health and other agronomic factors.

Like our GPT? Try our full AI-powered search engine and academic features for free at [consensus.app](#).



You

What were the each problems they encountered in the discussion part that each research paper faced that you presented?



Consensus

The research papers I mentioned earlier on enhancing the spatial resolution of Sentinel-2 satellite data using deep learning for precision agriculture each discuss various challenges and limitations they encountered. Here's a breakdown of the main problems they addressed in their discussions:

- 1. Sentinel-2 Images at 2.5m Spatial Resolution via Deep-Learning: A Case Study in Zakythnos**
The authors highlight the limitations of existing super-resolution techniques when applied directly to satellite images without adjustments for the specific spectral characteristics of Sentinel-2 data. They also point out the need for more extensive validation and the potential for model overfitting to specific geographic locations, which may limit generalizability ([Panagiotopoulou et al., 2022](#)).

2. **Learning Super-Resolution for Sentinel-2 Images with Real Ground Truth Data from a Reference Satellite**
The discussion addresses the challenge of training deep learning models for super-resolution without ground truth data at desired resolutions. The authors used images from another sensor as a proxy, but acknowledge that differences in sensor characteristics can introduce discrepancies that might affect the accuracy and applicability of the super-resolution models ([Galar et al., 2020](#)).
3. **Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using Convolutional Neural Networks and Real Ground Truth Data**
This paper discusses the inherent difficulties in achieving high-quality super-resolution from 10m to 2.5m due to the absence of native high-resolution Sentinel-2 data for training. The authors also mention the challenge of maintaining the spectral integrity of the images post-super-resolution, which is crucial for subsequent remote sensing applications ([Galar et al., 2020](#)).
4. **Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using a Spectral Attention Mechanism**
The paper identifies the difficulty of integrating attention mechanisms that effectively handle the spectral details unique to multispectral data. Another problem discussed is the computational intensity of training deep networks with attention mechanisms, which can limit the feasibility of applying these methods in operational settings ([Zabalza & Bernardini, 2022](#)).
5. **A Comparison of Deep Learning-Based Super-Resolution Frameworks for Sentinel-2 Imagery in Urban Areas**
The authors discuss the lack of a standard benchmark for comparing super-resolution models specifically for satellite imagery, which complicates the evaluation of model performance. They also note the difficulty in assessing the real-world applicability of these models in urban settings, where the diversity of surface features can vary significantly, affecting model performance ([Seydi & Arefi, 2023](#)).

These discussions provide valuable insights into the challenges faced when applying advanced deep learning techniques to improve the resolution of satellite imagery, particularly in the context of precision agriculture.



You

Which of these research papers mentions in the discussion part that they would like to see if the results would be more accurate/improvements if the spatial resolution was even better than 2.5m



Consensus

The paper "Super-Resolution of Sentinel-2 Images Using Convolutional Neural Networks and Real Ground Truth Data" discusses the potential benefits of further improving the spatial resolution beyond 2.5m. The authors express interest in exploring whether achieving even finer resolutions, such as 1m or higher, could provide more detailed insights and improve the accuracy of their applications, particularly in precision agriculture where detailed information is crucial for crop management and monitoring ([Galar et al., 2020](#)).

A.8 ChatGPT 4.0 prompt April 30 version



You

What statistical method to use to see if the spatial resolution of 1m from deep learning has better accuracy of NDVI values than the drone image spatial resolution and sentinel-2 spatial resolution of 10 m?

ChatGPT

To compare the accuracy of NDVI values obtained from different spatial resolutions (1m from deep learning, drone image spatial resolution, and Sentinel-2 spatial resolution of 10m), you can use several statistical methods. One commonly used approach is hypothesis testing, specifically conducting pairwise comparisons between the different spatial resolutions. Here's a step-by-step guide:

- 1. Define Hypotheses:**
 - Null Hypothesis (H0): There is no difference in the accuracy of NDVI values between the spatial resolutions.
 - Alternative Hypothesis (H1): The accuracy of NDVI values differs between at least one pair of spatial resolutions.
- 2. Select a Statistical Test:** Since you're comparing three groups, you can use one of the following tests:
 - One-way ANOVA (Analysis of Variance): This test assesses whether there are statistically significant differences in the means of three or more independent groups.
 - Kruskal-Wallis Test: Non-parametric alternative to ANOVA, suitable when the assumptions of ANOVA are not met (e.g., normality, homogeneity of variance).
- 3. Perform the Statistical Test:** Calculate the test statistic and associated p-value.
- 4. Interpret the Results:**
 - If the p-value is less than the chosen significance level (e.g., 0.05), you reject the null hypothesis and conclude that there are significant differences in the accuracy of NDVI values between at least one pair of spatial resolutions.
 - If the p-value is greater than the significance level, you fail to reject the null hypothesis, indicating no significant differences among the spatial resolutions.
- 5. Post-hoc Analysis (if ANOVA is significant):** If ANOVA indicates significant differences, you can conduct post-hoc pairwise comparisons to identify which specific pairs of spatial resolutions differ significantly. Common post-hoc tests include Tukey HSD (Honestly Significant Difference), Bonferroni correction, or Scheffe's method.
- 6. Effect Size Calculation (optional):** Calculate effect size measures (e.g., Cohen's d for parametric tests, rank-biserial correlation for non-parametric tests) to quantify the magnitude of differences between the groups.
- 7. Consider Practical Significance:** Even if statistically significant differences are found, consider whether these differences are practically significant and relevant for your application (precision agriculture in this case).
- 8. Report Findings:** Present the results of the statistical analysis, including the test statistic, p-value, any post-hoc comparisons, effect size measures, and interpretations, in a clear and concise manner.

By following these steps, you can determine whether the spatial resolution of 1m from deep learning provides better accuracy of NDVI values compared to the drone image and Sentinel-2 spatial resolutions of 10m.

A.9 Interpolert rådata til MSAVI2-statistikk

Resamplet (10x10m) MSAVI2 verdier rådata:

23.06.2023

MSAVI2 Sentinel-2 24.06.2023 Polygon A

0.11175, 0.187377, 0.16484, 0.203308, 0.187353, 0.183566, 0.206362, 0.202107, 0.282583, 0.376451, 0.156428, 0.212006, 0.250969, 0.32694, 0.404217, 0.122983, 0.198829, 0.258303, 0.314869, 0.370791, 0.390219, 0.150541, 0.242656, 0.269252, 0.139946

MSAVI2 Digifarm 24.06.2023 Polygon A

0.361888,0.086529,0.347227,0.389018,0.275468,0.382624,0.588338,0.621005,0.408619,0.439528,0.537144,0.414529,0.498074,0.452895, 0.680836,0.760289,0.381344,0.57057,0.599623,0.584647,0.747139,0.834978,0.570359,0.649669,0.618112,0.35644

MSAVI2 Drone 24.06.2023 Polygon A

0.471712, -0.174067, -0.029065, -0.034599, -0.023867, 0.09965, 0.563078, -0.016733, 0.332167, 0.299387, 0.275738, 0.538695, 0.098162, 0.616104, 0.089323, 0.240326, 0.435999, 0.091412, 0.115527, 0.048351, 0.166769, 0.076531, 0.090245, 0.165366, 0.159296, 0.518034

MSAVI2 Sentinel-2 24.06.2023 Polygon B

0.266278,0.249405,0.316687,0.300957,0.273942,0.205213,0.23388,0.278747,0.293615,0.293725,0.310416,0.33182,0.219211,0.184287,0.2297,0.256098,0.277359,0.31758,0.273855,0.173707,0.195258,0.234452,0.261233,0.318901,0.303862,0.355558,0.21822,0.179032,0.2338 53,0.25238,0.296279,0.300044,0.298035,0.186588,0.199612,0.231103,0.266488,0.289996,0.277533,0.363743,0.239792,0.18489,0.223467 ,0.275615,0.293722,0.29325,0.294957,0.21382,0.240825,0.31575,0.344075,0.356409,0.41077,0.263418,0.246525,0.337131,0.416637,0.43 3981,0.459173,0.498784,0.320126,0.264777,0.32785,0.442678,0.47058,0.480501,0.495718,0.312371,0.292259,0.393707,0.473282,0.4842 18,0.464516,0.445317,0.333536,0.275026,0.318328,0.420589,0.453522,0.41759,0.405586,0.29311,0.261435,0.320445,0.386425,0.376426 ,0.406283,0.493484,0.306357,0.248728,0.238393,0.322659,0.36412,0.400791,0.25505,0.22314,0.280539,0.254851,0.24091

MSAVI2 Digifarm 24.06.2023 Polygon B

0.619907, 0.692627, 0.751688, 0.683087, 0.598488, 0.559431, 0.691396, 0.726646, 0.770753, 0.670978, 0.728445, 0.78752, 0.619341, 0.455488, 0.621717, 0.709355, 0.6786, 0.762347, 0.621019, 0.480054, 0.618863, 0.614634, 0.644184, 0.746774, 0.681003, 0.807036, 0.519726, 0.495498, 0.650305, 0.696964, 0.741847, 0.708232, 0.672813, 0.481778, 0.456337, 0.655986, 0.637604, 0.712219, 0.657337, 0.503437, 0.50871, 0.570891, 0.672462, 0.734396, 0.661579, 0.717171, 0.528643, 0.62236, 0.699156, 0.73181, 0.744838, 0.729285, 0.611711, 0.602049, 0.741268, 0.807417, 0.82338, 0.838293, 0.872349, 0.72832, 0.556342, 0.772629, 0.861892, 0.821803, 0.871755, 0.849449, 0.739682, 0.65044, 0.798886, 0.877207, 0.876094, 0.847392, 0.867499, 0.727502, 0.509049, 0.737727, 0.852493, 0.854115, 0.809363, 0.801102, 0.742095, 0.687874, 0.721843, 0.817613, 0.767533, 0.809603, 0.886779, 0.493161, 0.553807, 0.763995, 0.828996, 0.622893, 0.615244

Drone 24.06.2023 Polygon B

0.177948,0.207071,0.323671,0.20894,0.187495,0.219915,0.13365,0.308747,0.244449,0.364331,0.283226,0.278609,0.116624,0.107536,0.196698,0.17029,0.268538,0.258756,0.123413,0.116737,0.13508,0.118246,0.135902,0.251004,0.25989,0.261621,0.078613,0.090563,0.150 904,0.195972,0.217435,0.452929,0.123693,0.142963,0.202103,0.126415,0.239373,0.28461,0.215356,- 0.010494,0.122616,0.203788,0.207565,0.199805,0.146262,0.306625,0.090939,0.191275,0.201418,0.311458,0.276094,0.39808,0.089229,0 .300126,0.38347,0.400424,0.457738,0.363576,0.504871,0.237322,0.052697,0.18232,0.483739,0.399516,0.475004,0.441522,0.196927,0.2 86406,0.446085,0.424283,0.55233,0.418582,0.472667,0.38395,0.203689,0.13373,0.500832,0.41663,0.524145,0.351262,0.105937,0.22163 4,0.46524,0.43875,0.309494,0.304099,0.418214,0.258891,0.196515,0.370434,0.283162,0.333862,0.199669

23.08.2023

MSAVI2 Sentinel-2 23.08.2023 Polygon A

0.121085,0.328599,0.342087,0.410306,0.326499,0.291112,0.332081,0.409103,0.37996,0.281252,0.155199,0.235609,0.287424,0.258774,0 .20609,0.144841,0.23297,0.231249,0.242333,0.245708,0.256879,0.191074,0.241294,0.239531,0.162466

MSAVI2 Digifarm 23.08.2023 Polygon A

0.332924,0.15916,0.361562,0.363847,0.197028,0.590411,0.450566,0.831183,0.724258,0.896309,0.802644,0.501118,0.769376,0.758853,0 .754433,0.680536,0.461018,0.520858,0.659648,0.711801,0.614873,0.599717,0.815041,0.673841,0.661131,0.363922

MSAVI2 Drone 23.08.2023 Polygon A

0.453852,0.010271,0.007343,0.003969,0.008523,0.255546,- 0.006626,0.73835,0.392542,0.74721,0.802511,0.11935,0.178616,0.566655,0.121301,0.122873,0.069195,0.155861,0.490049,0.131041,0.1 23913,0.118962,0.804568,0.12466,0.17666,-0.036192

MSAVI2 Sentinel-2 23.08.2023 Polygon B

0.388933,0.592372,0.143428,0.207034,0.285425,0.1459,0.142923,0.13279,0.130823,0.143596,0.147539,0.15059,0.17689,0.12887,0.1193 57,0.134659,0.138692,0.137491,0.185036,0.155877,0.117526,0.124238,0.131825,0.136359,0.144438,0.154938,0.15969,0.136611,0.13047 4,0.13607,0.128986,0.12671,0.164202,0.174664,0.139068,0.146728,0.138923,0.140551,0.133794,0.13908,0.17801,0.158005,0.136558,0.1 21331,0.128675,0.136165,0.146227,0.168602,0.131885,0.108685,0.117388,0.11912,0.10043,0.179915,0.155195,0.098509,0.108709,0.100

605,0.093368,0.084807,0.172509,0.206547,0.114869,0.088191,0.087975,0.094812,0.0806,0.146698,0.128391,0.090983,0.083225,0.092959,0.093628,0.098465,0.112814,0.130592,0.10929,0.091601,0.095587,0.108854,0.111227,0.137138,0.133849,0.097938,0.103794,0.108922,0.11587,0.103434,0.112326,0.138349,0.124313,0.11106,0.11561,0.118195,0.131193,0.135863,0.124501,0.151879,0.223884

MSAVI2 Digifarm 23.08.2023 Polygon B

0.903281,0.595581,0.510695,0.664844,0.82354,0.50459,0.556381,0.557553,0.584923,0.602792,0.558412,0.535944,0.640022,0.50292,0.543195,0.574759,0.618885,0.558116,0.514476,0.497416,0.488434,0.500649,0.52128,0.53125,0.561795,0.496108,0.554036,0.530014,0.493171,0.528569,0.47953,0.429926,0.58813,0.508414,0.539562,0.57292,0.510173,0.49292,0.49202,0.54536,0.548533,0.540731,0.462529,0.464638,0.456987,0.501842,0.499808,0.497274,0.400414,0.417924,0.426276,0.330707,0.440394,0.449059,0.329256,0.381271,0.347607,0.336799,0.312799,0.542355,0.705774,0.36815,0.312855,0.30566,0.306878,0.27045,0.480675,0.356606,0.30003,0.308127,0.305509,0.293978,0.344705,0.344902,0.319328,0.332787,0.319325,0.325594,0.394177,0.365015,0.569795,0.449745,0.330846,0.375115,0.382146,0.408817,0.335564,0.333549,0.375184,0.392966,0.385107,0.427044,0.380025

MSAVI2 Drone 23.08.2023 Polygon B

0.449818,0.689769,0.103613,0.112057,0.494115,0.089802,0.128902,0.250834,0.122793,0.106518,0.12046,0.085588,0.11503,0.094409,0.159458,0.139246,0.133654,0.125674,0.336867,0.085803,0.125735,0.163736,0.160519,0.142991,0.175986,0.124058,0.245358,0.095872,0.124198,0.162262,0.17689,0.142088,0.286895,0.092133,0.124337,0.145849,0.117875,0.124454,0.138251,0.05014,0.161085,0.093969,0.120863,0.154547,0.109348,0.133427,0.142695,0.121419,0.121077,0.122931,0.126022,0.105101,0.402946,0.096619,0.09477,0.102111,0.11478,0.098946,0.102891,0.133077,0.480984,0.09858,0.074924,0.090509,0.090718,0.091571,0.497246,0.102954,0.10735,0.083563,0.077653,0.100542,0.08607,0.112416,0.361395,0.099086,0.091419,0.100578,0.112654,0.083527,0.108381,0.100793,0.107904,0.081619,0.159918,0.136232,0.070943,0.089231,0.094274,0.122824,0.121926,0.099673,0.119846

04.09.2023

MSAVI2 Sentinel-2 04.09.2023 Polygon A

0.035283,0.246977,0.209616,0.209985,0.298143,0.311522,0.288175,0.274784,0.2753,0.22995,0.185584,0.169566,0.231634,0.208645,0.184823,0.12984,0.195498,0.178518,0.197812,0.201804,0.229445,0.168171,0.176941,0.2018,0.129673

MSAVI2 Digifarm 04.09.2023 Polygon A

0.591419,0.007483,0.418946,0.602539,0.265361,0.49592,0.338204,0.789654,0.377295,0.686415,0.620173,0.792288,0.568642,0.606848,0.715889,0.601293,0.521652,0.476147,0.603514,0.589054,0.565609,0.553989,0.656609,0.491029,0.580782,0.436693

MSAVI2 Drone 04.09.2023 Polygon A

0.452765,-0.069012,-0.051215,-0.023073,-0.014949,0.078113,-0.002642,0.512676,0.320568,0.186271,0.253849,0.092315,0.072508,0.240396,0.07787,0.046273,0.009625,0.053271,0.163798,0.048135,0.053543,0.044421,0.109188,0.059165,0.049286,-0.094443

MSAVI2 Sentinel-2 04.09.2023 Polygon B

0.250511,0.304509,0.131684,0.170256,0.215381,0.146107,0.142311,0.131358,0.125586,0.139464,0.130208,0.130566,0.15695,0.121676,0.11523,0.115723,0.122527,0.116214,0.159306,0.130917,0.112116,0.121805,0.121711,0.119101,0.125959,0.143433,0.155016,0.126565,0.115963,0.122788,0.12535,0.117695,0.174543,0.152367,0.135576,0.12531,0.121543,0.117088,0.11279,0.143116,0.179066,0.147951,0.135368,0.124977,0.113932,0.113019,0.15889,0.161008,0.124642,0.107295,0.110316,0.11507,0.10637,0.172278,0.154091,0.107386,0.10357,0.101,0.091257,0.086594,0.167963,0.19852,0.109502,0.096975,0.090787,0.089792,0.08584,0.164055,0.123911,0.093717,0.079734,0.080536,0.083284,0.092636,0.135022,0.142812,0.104997,0.087407,0.090556,0.094157,0.096306,0.149336,0.139834,0.092731,0.094104,0.102356,0.101802,0.099349,0.125941,0.154108,0.117101,0.104045,0.09665,0.108772,0.160556,0.153426,0.117045,0.163687,0.188056

MSAVI2 Digifarm 04.09.2023 Polygon B

0.713676,0.543701,0.463981,0.547809,0.617337,0.457294,0.55339,0.455788,0.502292,0.548151,0.486683,0.493416,0.493451,0.436781,0.500071,0.433599,0.490927,0.460546,0.484655,0.421685,0.420668,0.485319,0.445902,0.409818,0.47416,0.484624,0.473311,0.479585,0.419788,0.436865,0.453964,0.430186,0.49501,0.470415,0.469994,0.470764,0.426328,0.408364,0.412278,0.504685,0.500868,0.488322,0.43325,0.422718,0.374894,0.366702,0.458279,0.408291,0.369374,0.370641,0.417035,0.385821,0.535984,0.484293,0.343237,0.362394,0.348888,0.32852,0.344504,0.308796,0.572524,0.354134,0.353646,0.35193,0.352709,0.345144,0.502959,0.418081,0.337749,0.336426,0.315085,0.318413,0.356789,0.385529,0.469043,0.346187,0.334229,0.343049,0.343987,0.325749,0.393284,0.432353,0.344527,0.353826,0.346463,0.328695,0.346288,0.482541,0.354768,0.365962,0.329281,0.33909,0.449611

MSAVI2 Drone 04.09.2023 Polygon B

0.227932,0.180632,0.063321,0.054448,0.182099,0.069678,0.097586,0.190773,0.055614,0.060222,0.065097,0.057768,0.054543,0.057428,0.070931,0.073951,0.077525,0.059336,0.131871,0.047591,0.068712,0.081538,0.068523,0.073061,0.097742,0.110045,0.222725,0.062194,0.061517,0.071424,0.081166,0.066592,0.104272,0.051967,0.068537,0.077199,0.065718,0.049579,0.079802,0.007629,0.190128,0.059547,0.066391,0.097333,0.051581,0.10208,0.074701,0.064179,0.0549,0.063575,0.049955,0.043645,0.307976,0.043682,0.045257,0.04741,0.048519,0.046729,0.03998,0.084465,0.34974,0.07002,0.036109,0.047584,0.041089,0.036371,0.302137,0.055247,0.052031,0.032639,0.03738

9,0.039685,0.039793,0.057713,0.246753,0.049765,0.048372,0.041504,0.049895,0.031046,0.102564,0.050333,0.045439,0.042163,0.05994,0.058373,0.03924,0.078208,0.045644,0.057754,0.044329,0.082331,0.069781

24.09.2023

MSAVI Sentinel-2 24.09.2023 Polygon A

0.062671,0.138399,0.175851,0.118708,0.155457,0.116682,0.17443,0.25893,0.144812,0.215994,0.310687,0.395569,0.348841,0.31011,0.327937,0.376903,0.31054,0.26658,0.287578,0.250661,0.226615,0.185663,0.221448,0.226845,0.141534

MSAVI Digifarm 24.09.2023 Polygon A

0.820632,0.40215,0.482274,0.673957,-
0.01954,0.335,0.402449,0.314608,0.373903,0.525675,0.280573,0.410944,0.433199,0.702842,0.357821,0.774705,0.698967,0.870439,0.608546,0.747695,0.652205,0.608427,0.636435,0.537845,0.611352,0.534172

MSAVI Drone 24.09.2023 Polygon A

0.089009,0.009714,-0.031374,-0.031234,-0.018301,0.459966,-
0.055502,0.365853,0.192602,0.307276,0.256678,0.008883,0.108393,0.124744,0.44694,0.581528,0.073442,0.058192,0.190873,0.315175,0.677438,0.677418,0.2273,0.148469,0.507594,-0.082926

MSAVI Sentinel-2 24.09.2023 Polygon B

0.231366,0.27245,0.15526,0.281854,0.45175,0.214161,0.168898,0.155557,0.241001,0.419329,0.464302,0.206723,0.22874,0.183334,0.182465,0.187718,0.226478,0.229476,0.21933,0.190406,0.186255,0.165352,0.160729,0.156989,0.149224,0.207667,0.22277,0.205609,0.171082,0.146017,0.138765,0.141361,0.242734,0.234563,0.221112,0.159722,0.13039,0.132204,0.144488,0.20301,0.245029,0.240972,0.182266,0.140159,0.131153,0.141629,0.232245,0.24907,0.203721,0.166323,0.141085,0.129317,0.127823,0.249799,0.235377,0.177058,0.145708,0.121767,0.127118,0.11932,0.215852,0.259016,0.196903,0.152371,0.121142,0.114197,0.090147,0.269918,0.260123,0.159527,0.109387,0.102807,0.099248,0.10383,0.238361,0.278224,0.190132,0.11467,0.101935,0.098099,0.099221,0.214499,0.226441,0.139963,0.104243,0.101833,0.110289,0.104641,0.171486,0.234255,0.185479,0.114911,0.101769,0.120311,0.203499,0.221355,0.149601,0.166615,0.229058

MSAVI Digifarm 24.09.2023 Polygon B

0.557468,0.442505,0.457061,0.734718,0.852186,0.479046,0.477014,0.48675,0.678689,0.835423,0.879659,0.568208,0.617195,0.501766,0.565772,0.582791,0.566391,0.633525,0.58599,0.529899,0.487908,0.564529,0.607323,0.551157,0.564997,0.629153,0.595467,0.543047,0.465614,0.526521,0.519373,0.492041,0.569544,0.599237,0.593705,0.452277,0.44987,0.437374,0.478766,0.619916,0.635618,0.505984,0.408639,0.396601,0.481384,0.567467,0.614595,0.503698,0.466454,0.44349,0.413427,0.423714,0.592478,0.591542,0.509366,0.42719,0.348528,0.43192,0.411801,0.504503,0.608435,0.400401,0.414087,0.398828,0.37391,0.331649,0.568818,0.642436,0.446733,0.316341,0.333599,0.372968,0.393065,0.700787,0.702194,0.351423,0.368087,0.343089,0.344037,0.340933,0.412753,0.597447,0.357929,0.3256,0.347198,0.35683,0.370087,0.652657,0.385756,0.341203,0.333757,0.498618,0.604923

MSAVI Drone 24.09.2023 Polygon B

0.44203,0.73715,0.312422,0.07046,0.343973,0.146604,0.12146,0.09063,0.066675,0.073687,0.072785,0.084307,0.180998,0.181843,0.11274,0.056992,0.142196,0.092206,0.556746,0.09281,0.167053,0.068021,0.067494,0.069215,0.065374,0.10837,0.519663,0.184787,0.213612,0.106992,0.049082,0.045163,0.091652,0.202184,0.146549,0.191675,0.079589,0.069643,0.068184,-
0.032447,0.141955,0.244107,0.080921,0.078665,0.052326,0.103081,0.330762,0.250179,0.070283,0.089328,0.067724,0.056186,0.052338,0.136965,0.117003,0.063113,0.0427,0.04276,0.040853,0.143436,0.274955,0.195944,0.051269,0.052394,0.056204,0.026061,0.538602,0.276294,0.101887,0.031655,0.041722,0.030384,0.035295,0.069202,0.314185,0.167113,0.037025,0.038574,0.06585,0.047803,0.272896,0.166044,0.107384,0.044821,0.068306,0.041553,0.045115,0.397049,0.175583,0.052524,0.145565,0.188545,0.159146



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway