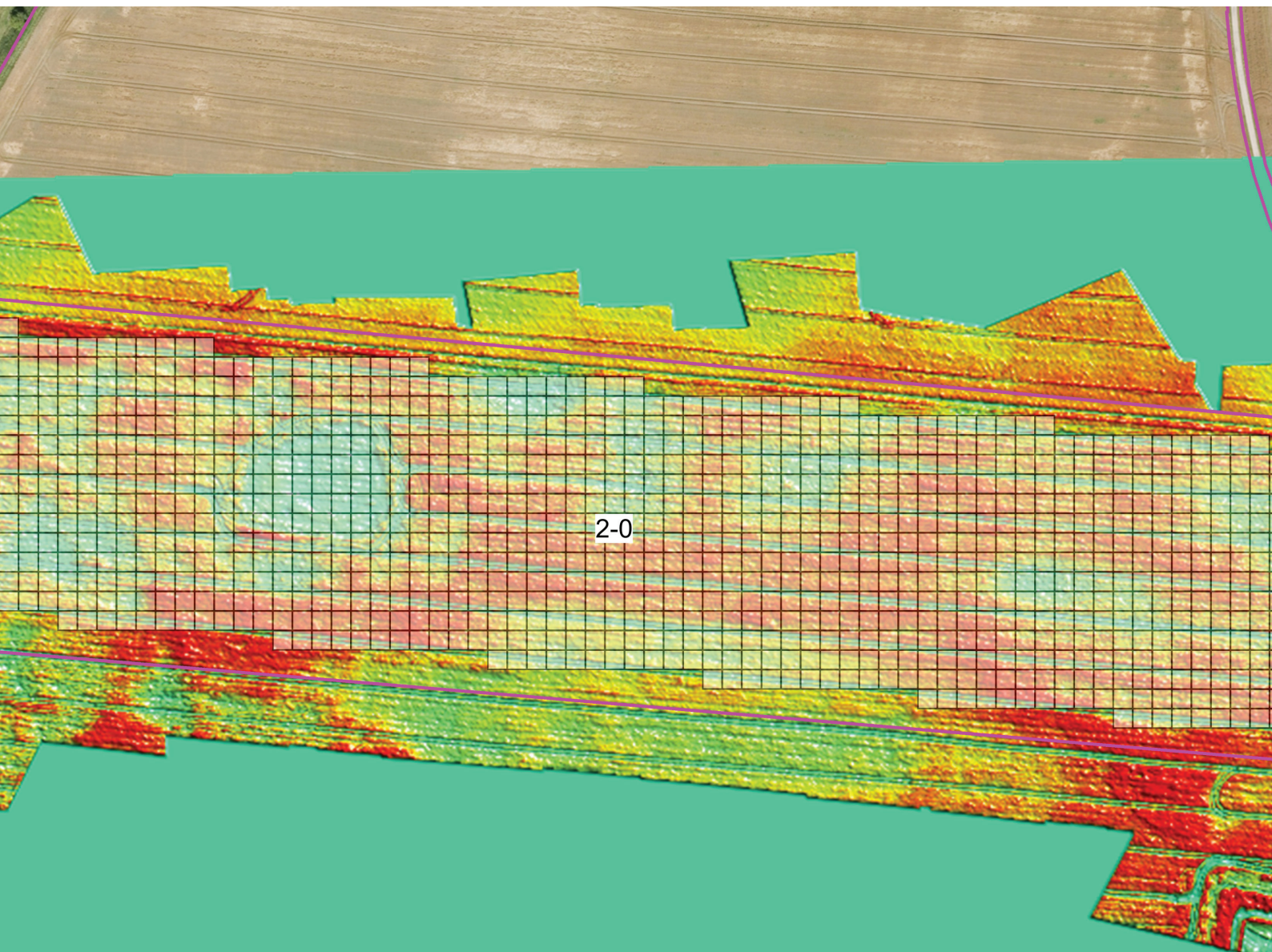


SAMMENHÆNGEN MELLEM SATELLIT- OG DRONEMÅLINGER



Forord

I 2018 investerede SEGES, PlantInnovation, Teknologisk Institut og flere DLBR forsøgsheder i droner med multispektrale kameraer. Adskillige landsforsøg er blevet overfløjet i 2018 og 2019 for at undersøge om, og hvordan multispektrale billeder med en høj opløsning kan give yderligere værdi i landsforsøgene. I praksis vil f.eks. positionsbestemt kvælstoftildeling blive fastsat ud fra satellitmålinger, men satellitmålinger kan ikke foretages i almindelige parcellforsøg. Denne rapport belyser derfor, om resultater fra droneoverflyvninger i landsforsøg kan oversættes til satellitmålinger i marken. Gennem vækstsæsonen er der foretaget droneoverflyvninger i marker med vinterhvede, vinterraps og vårbyg. Der er indhentet satellitbilleder fra markerne fra omkring samme tid som dronemålingerne er udført, hvorefter data er sammenholdt. Det undersøges ligeledes, om det har betydning, hvilket multispektrale kamera der er anvendt til at foretage biomassemålingen (NDRE) samt om tidspunktet på dagen, og dermed indstråling, har betydning for NDRE målt med drone. Det belyses også om der er en sammenhæng mellem kvælstofoptagelse og NDVI målt med Greenseeker, drone og satellit i økologiske vinterhvede med varierende ukrudtstryk. Resultaterne fra rapporten skal understøtte udviklingen af drone- og satellitbilleder i planteavl.

Indholdsfortegnelse

Forord	2
1. Baggrund og formål	4
2. Metode	5
3. Resultater og diskussion	8
3.1 Sammenhængen mellem biomasse målt med satellit og drone	8
3.1.1 Vinterhvede	8
3.1.2 VinterRaps	11
3.1.3 Vårbyg	14
3.2 Betydningen af overflyvningstidspunkt for biomassen målt med drone	15
3.3 Betydning af kamera anvendt til biomassemåling med drone	17
3.4 Biomassemålinger og kvælstofoptagelse i økologisk vinterhvede	19
3. Konklusion	22
4. Kilder	23
Bilag 1	24

1. Baggrund og formål

Der findes flere typer af multispektrale sensorer/kameraer (satellitter, droner, traktormonteret og håndholdte sensorer) som måler forskellige spektrale bånd i det elektromagnetiske spektrum. Båndene kan b.la. anvendes til at beregne vegetationsindeks (f.eks. NDRE og NDVI) som siger noget om biomassen på marken. Se artiklen "[Teorien bag sensormålinger og vegetationsindeks](#)" og rapporten "[Anvendelse af multispektrale dronebilleder i landsforsøgene](#)" for mere basisviden om sensormålinger, vegetationsindeks og hvilke spektrale bånd forskellige typer af sensorer anvender.

Droneoverflyvninger i landsforsøgene anvendes b.la. til at finde sammenhænge mellem behandlinger (f.eks. sorter og kvælstoftildeling) og biomassemålinger, så resultaterne fra landsforsøgene kan opskaleres til biomasseregistreringer målt med satellit. Caturegli et al. (2015) fandt en god korrelation i græs mellem NDVI målt med satellit (GeoEye-1) og NDVI målt med to håndholdte sensorer (LICOR 1800 spectroradiometer og GreenSeekeren fra Trimble), og vurderede at satellit med tiden kan anvendes til at regulere kvælstofbehovet på markniveau. Danske landmænd har gratis adgang til billeder af biomassen på marken i en opløsning på 10 x 10 meter målt med Sentinel 2 satellitter. Derfor skal det undersøges, om biomasse målt med drone og biomasse målt med Sentinel 2 satellitter giver samme billede af afgrøden på marken.

Sammenligning af biomassemålinger (NDRE eller NDVI) mellem forskellige typer af sensorer er forbundet med usikkerheder, der kræver kalibrering/justering for at målingerne kan sammenlignes. Fan et al. (2018) og Steven et al. (2003), blandt andre, kom frem til at luftbårne sensorers håndtering af indstråling, kalibrering, skydække mv. giver væsentlig større anledning til usikkerhed og inkonsistens, end usikkerheden mellem forskellige typer af kameraer samt usikkerheden mellem samme type af kameraer. I regi af landsforsøgene overflyves forsøg rundt om i hele landet af forskellige forsøgsheder med samme type multispektrale kamera. Der er behov for at få klarlagt, hvorvidt dronemålingerne på tværs af forsøgshederne kan sammenholdes, og hvor stor betydning tidspunktet (indstråling og skydække) for overflyvningen har for biomassemålingerne.

I forhold til aktiv anvendelse af biomassemålinger har økologiske planteavlere, sammenlignet med konventionelle kollegaer, den udfordring, at marker sjældent er helt rene for ukrudt. Og da biomassemålingerne ikke skelner mellem ukrudt og kulturplanter, udfordres anvendeligheden af den indsamlede data. Derfor skal det undersøges, om biomassemålinger fra økologiske vinterhvedemarker giver et retvisende billede af hvedens vækst, vitalitet, kvælstofoptag m.m.

Gødningsforsøg fra 2018 og 2019 har vist, at NDRE beskriver kvælstofoptaget i vinterhvede bedre end NDVI (se Oversigten over landsforsøg 2018 og 2019), hvorfor der i størstedelen af denne analyse er fokuseret på vegetationsindekset NDRE. I bilag ses sammenhængen mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit. I afsnittet om brugen af biomassemålinger på økologiske marker er anvendt vegetationsindekset NDVI.

Formålet med analysen er at undersøge: 1) om der er en sammenhæng mellem biomasse (NDRE og NDVI) målt med drone og biomasse målt med satellit, 2) om kameraet anvendt har betydning for NDRE målt med drone, 3) om tidspunktet for overflyvning, og dermed indstråling, har betydning for NDRE målt med drone, 4) om der er en sammenhæng mellem kvælstofoptag og NDVI målt med Greenseeker, drone og satellit i økologiske vinterhvedemarker med forskelligt ukrudtstryk.

2. Metode

Gennem vækstsæsonen 2019 er 4 marker med vinterhvede (5-0, 6-0, 3-1 og 44-0), én mark med vinterraps (mark 3-0) og én mark med vårbyg (2-0) overfløjet af Teknologisk Institute og SEGES med droner monteret med multispektrale kameraer (figur 1). Der er indhentet satellitbilleder fra markerne fra omkring samme tid som dronemålingerne er udført (tabel 1) hvorefter data er sammenholdt.



Figur 1. Forsøgsmarker i 2019.

Tabel 1. Marker overfløjet med drone monteret med multispektralt kamera samt dato og vækststadiet for overflyvning. Tabellen viser også hvilket satellitbillede der er sammenholdt med dronebillederne samt arealet som er analyseret.

Marknum- mer	Afgrøde	Dato med drone data	Vækststadiet ved droneoverflyvning	Dato med sat- ellite data	Analyseareal **)
3-1 og 44-0	Vinterhvede	6. marts	29	11. marts ¹⁾	12,7 ha (1265)
		10. april	31	13. april	13,5 ha (1351)
		14. Maj	37	25. maj	16,2 ha (1620)
5-0 og 6-0	Vinterhvede	28. februar	29	27. februar.	15,6 ha (1556)
		6. marts	29	11. marts ¹⁾	22 ha (2204)
		11. april	31	13. april	11,6 ha (1159)
3-0	Vinterraps	6. marts	19	11. marts ¹⁾	14,9 ha (1493)
		10. april	57	13. april	14 ha (1408)
		14. maj	65	3. maj ¹⁾	13,5 ha (1353)
2-0	Vårbyg	14. maj	25	25. maj	10,8 ha (1041)

¹⁾ Data er hentet fra Sathub uden skylag, som fjerner biomassebilleder med skyer. Efterfølgende er satellitbillederne tjekket for skyer i CropSat. Der kan derfor være sinus-skyer på billederne, der ikke kan detekteres på satellitbillederne i CropSat.

**) Parentesen viser antallet af målepunkter (polygoner på 10 x 10 meter) som ligger til grund for analysen af drone- og satellitdata.

Satellitdata (NDVI og NDRE) er hentet som Tiff-filer fra Sathub i en opløsning på 10 x 10 meter. Filene er herefter konverteret fra raster til vektor. Satellitmålt NDVI er beregnet ud fra bånd 4 og 8 $((833 - 665)/(833 + 665))$ i tabel 2 mens NDRE er udregnet ud fra bånd 5 og 8 $((833 - 704)/(833 + 704))$.

Tabel 2. Spektrale bånd tilgængelig fra Sentinel 2 (S2A og S2B) samt båndbredde (nm) og opløselighed (m).

Bånd nummer	S2A		S2B		Spatial resolution (m)
	Centrale bølglængde (nm)	båndbredde (nm)	Centrale bølglængde (nm)	Båndbredde (nm)	
1	442.7	21	442.2	21	60
2	492.4	66	492.1	66	10
3	559.8	36	559	36	10
4	664.6	31	664.9	31	10
5	704.1	15	703.8	16	20
6	740.5	15	739.1	15	20
7	782.8	20	779.7	20	20
8	832.8	106	832.9	106	10
8a	864.7	21	864	22	20
9	945.1	20	943.2	21	60
10	1373.5	31	1376.9	30	60
11	1613.7	91	1610.4	94	20
12	2202.4	175	2185.7	185	20

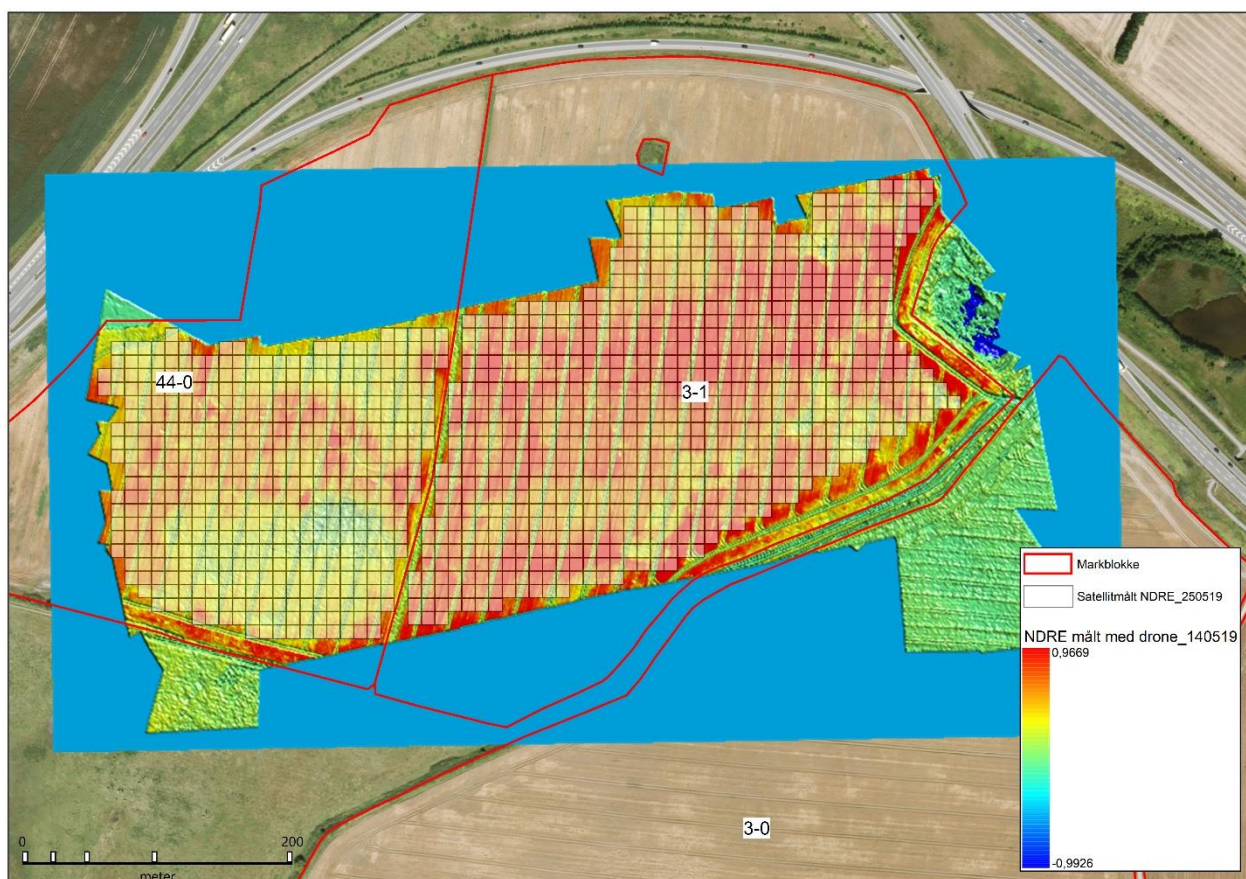
Dronebillederne er taget med et kamera fra MicaSense (*MicaSense RedEdge Multispektral Camera*), som måler refleksion i fem bånd (se bånd 2 til 6 i tabel 3). Det blå (ved 474 nm), grønne (560 nm), røde (668 nm), Red Edge (717 nm) og infrarøde bånd (840 nm). NDVI er beregnet ud fra bånd 4 og 6 $((840 - 668)/(840 + 668))$ i tabel 3 mens NDRE er beregnet ud fra bånd 5 og 6 $((840 - 717)/(840 + 717))$.

Dronebilleder er stitched i programmet Solvi. Opløsningen på dronebilleder er høj, men i denne databehandling er anvendt en opløsning på 1 x 1 meter. Rasterfilerne fra dronen er leveret af Teknologisk Institut og indeholder 8 billeder (bånd), hvoraf NDRE er anvendt i denne analyse (tabel 3). Analysen er fortaget i MapInfo Pro (version 17.0.3) hvor vækstøjet *MapInfo Raster Tool* har været anvendt til at trække regionsstatistik ud fra dronemålingerne indenfor polygonerne fra satellitbillederne på 10 x 10 meter.

Tabel 3. Billeder (bånd) tilgængelige fra droneoverflyvningerne.

Raster bånd	Indeks, bølglængde (nm) eller temperatur (C)
0	NDVI
1	NDRE
2	Blå (bånd 475)
3	Grøn (bånd 560)
4	Rød (bånd 668)
5	RedEdge (bånd 717)
6	NIR (bånd 840)
7	Temperatur

For hver 10 x 10 meters satellitdata er der for dronedata beregnet gennemsnit, standardafvigelse (SD) samt minimums- og maksimumsværdier indenfor arealet (figur 2). I afsnit 3.1 har analysegrundlaget varieret på markerne. I tabel 1 ses arealet analysen mellem satellit- og dronemålinger er baseret på.



Figur 2. Eksempel på satellit- og dronebilleder (NDRE) i vinterhvedemarkerne 44-0 og 3-1. NDRE målt med drone ses som en mosaik fra blå til rød (raster på 1x1 meter opløsning) mens NDRE målt med satellit er omdannet til polygoner (vektor) på 10 x 10 meter.

I afsnit 3.2 og 3.3 er en mark med vinterhvede (mark 5-0) overfløjet 11. april ca. kl. 9, 12 og 15 med to droner (SEGES og TI) monteret med samme type kamera fra MicaSense. Formålet er at undersøge, hvor stor betydning overflyvningstidspunktet (solindstråling) har for biomassen (NDRE) målt med dronen (skydækket og indstrålingen varierede på de tre flyvetidspunkter) samt at undersøge, om biomassemålinger målt med forskellige kamera af samme type kan sammenholdes. Dataanalysen er foretaget på ca. 80.000 målepunkter på 1 x 1 meter. I Excel er der via dataanalyse udført One-Way Anova på datasættet.

I afsnit 3.4 er to økologiske vinterhvedemarker ved Lemvig overfløjet med drone 26. marts i vækststadiet 32-37. Satellitbillederne fra markerne er udtaget 29. marts. For 3 lokaliteter pr. mark er der foretaget biomassemålinger med håndholdt Greenseeker og udtaget planteprøver til fastsættelse af kvælstofoptag i afgrøden. Ud fra de målte observationer undersøges, om NDVI målt med forskelligt udstyr er relateret til kvælstofoptaget i afgrøden.

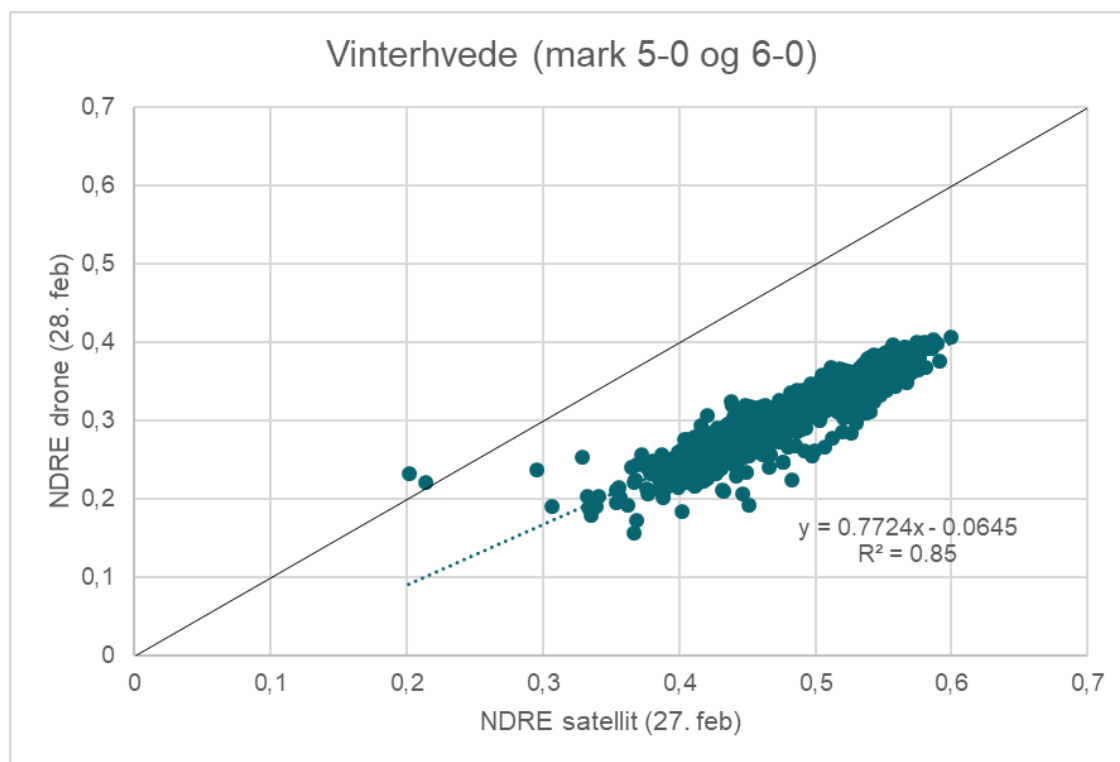
3. Resultater og diskussion

3.1 Sammenhængen mellem biomasse målt med satellit og drone

3.1.1 VINTERHVEDE

Figur 3 viser NDRE målt med drone 28. februar som funktion af NDRE målt med satellit 27. februar i mark 5-0 og 6-0. Den gennemsnitlige værdi af NDRE fra dronemålingerne, indenfor de 10 x 10 meters celler i satellitbilledet, ligger fra 0,16 til 0,41 mens NDRE målt med satellit går fra 0,20 til 0,60. Ud fra figuren ses en god korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit sidst i februar i vækststadiet 29 ($R^2=0,85$). NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,17 enhed (37 pct.) lavere i forhold til NDRE målt med satellit.

I bilag 1 (figur 20) ses sammenhængen mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit på samme tidspunkt som for NDRE. Der ses en god korrelation mellem målingerne ($R^2=0,94$). NDVI målt med drone ligger gennemsnitlig 0,01 enhed lavere i forhold til NDVI målt med satellit.

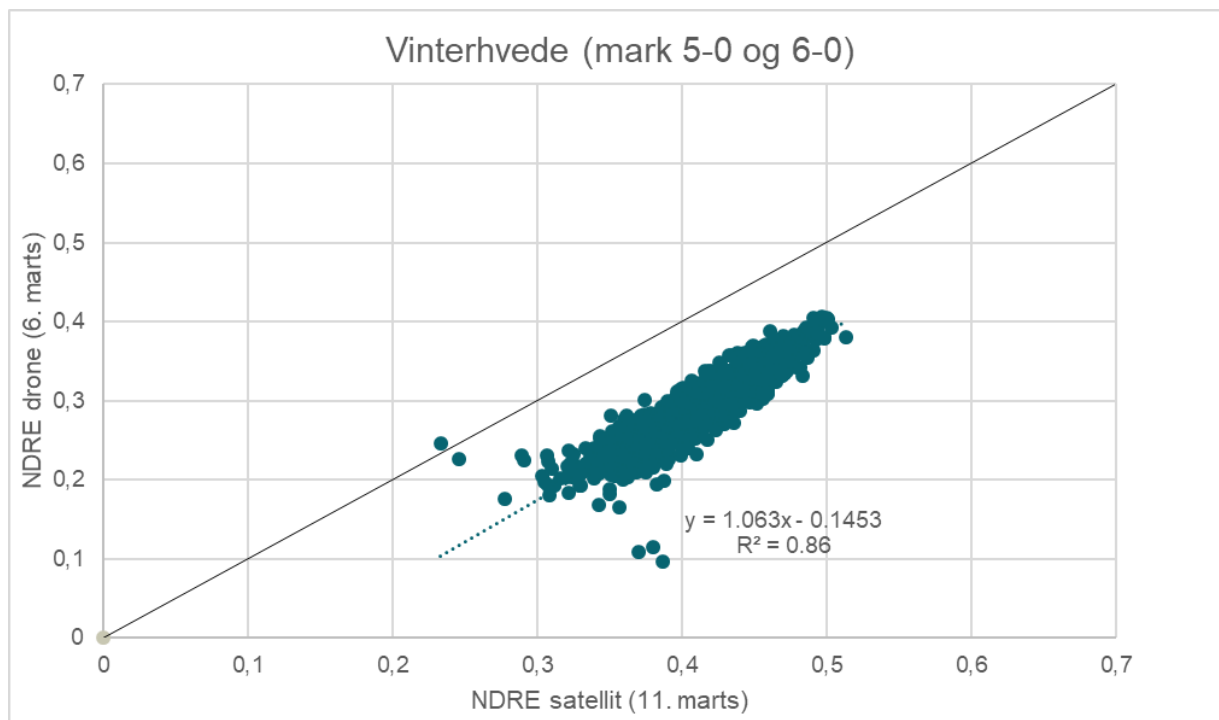


Figur 3. NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit sidst i februar 2019.

Figur 4 viser NDRE målt med drone 6. marts som funktion af NDRE målt med satellit 11. marts i mark 5-0 og 6-0. Den gennemsnitlige værdi af NDRE fra dronemålingerne, indenfor de 10 x 10 meters celler i satellitbilledet, ligger fra 0,10 til 0,41 mens NDRE målt med satellit går fra 0,23 til 0,51. Ligesom tidligere viser figuren en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadiet 29 ($R^2=0,86$). Igen ligger NDRE målt med drone gennemsnitlig 0,12 enhed (29 pct.) lavere i forhold til NDRE målt med satellit.

For NDVI (figur 21 i bilag 1) ses en god korrelation mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit ($R^2=0,72$). NDVI målt med drone ligger gennemsnitlig 0,08 enhed højere end NDVI målt med satellit.

Resultater fra mark 3-1 og 44-0 med vinterhvede viser ligeledes en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit medio marts i vækststadiet 29 ($R^2=0.88$). Data ikke vist. NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,14 enhed (31 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.

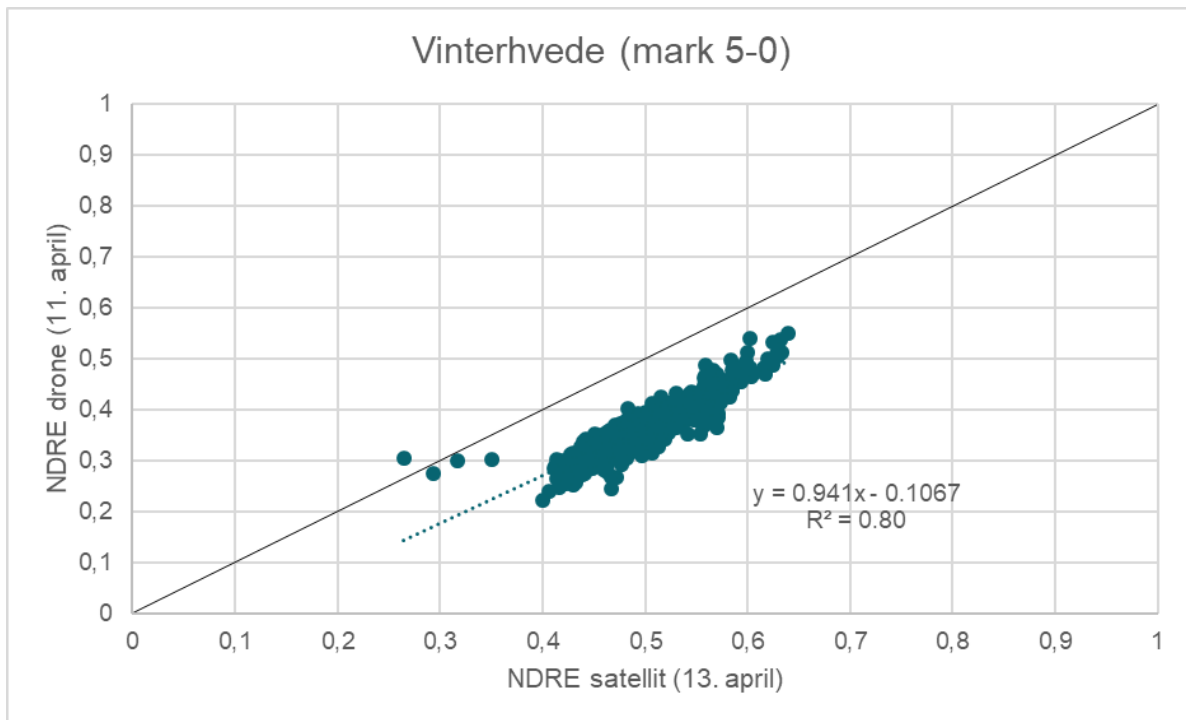


Figur 4. NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit i starten af marts måned.

Figur 5 viser NDRE målt med drone 11. april som funktion af NDRE målt med satellit 13. april i mark 5-0 og 6-0. Den gennemsnitlige værdi af NDRE fra dronemålingerne inden for de 10 x 10 meters grid ligger på 0,22 til 0,55 mens NDRE målt med satellit ligger på 0,26 til 0,64. Der ses en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit medio april i vækststadiet 31 ($R^2=0.8$). NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,14 enhed (28 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.

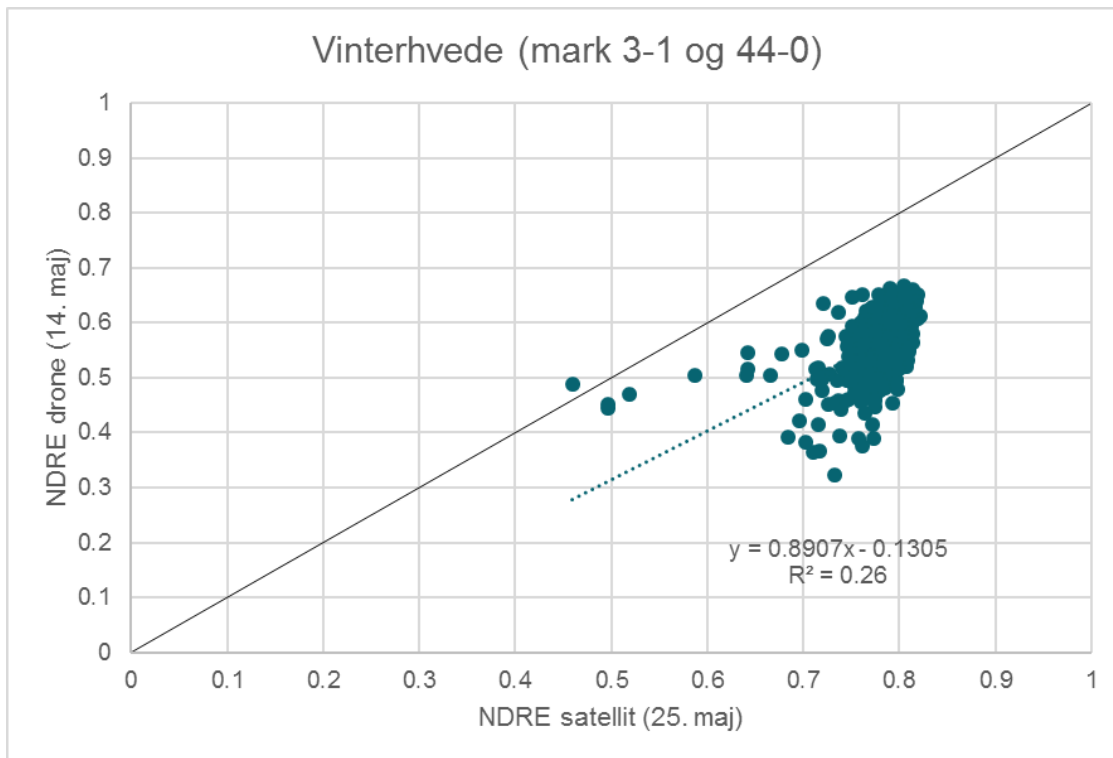
I bilag 1 (figur 22) ses NDVI målt med drone som funktion af NDVI målt med satellit. Der ses en god sammenhæng mellem målingerne ($R^2=0,89$), og NDVI målt med drone ligger gennemsnitlig 0,02 enhed højere end NDVI målt med satellit.

Resultater fra mark 3-1 og 44-0 viser ligeledes en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit medio april i vækststadiet 31 ($R^2=0.85$). Data ikke vist. NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,15 enhed (27 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.



Figur 5. NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit i medio april.

Figur 6 viser NDRE målt med drone 14. maj som funktion af NDRE målt med satellit 25. maj på mark 44-0 og 3-1. Den gennemsnitlige værdi af NDRE målt med drone ligger på 0,32 til 0,67 mens NDRE målt med satellit varierer fra 0,46 til 0,82. Størstedelen af målepunkterne (10 x 10 meters celler fra satellit) ligger dog fra 0,7 til 0,8. Variationen i NDRE indenfor marken er derfor mindre end tidligere på sæsonen, hvilket kan forklare en ringere korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadiet 37 end tidligere på sæsonen ($R^2 = 0,26$). Den dårligere sammenhæng mellem målingerne kan også skyldes, at der er 12 dage mellem målingerne i en periode i vækstsæsonen med kraftig vækst. Den mindre variation i marken kan også være et resultat af mætning af NDRE. NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,22 enhed (28 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.



Figur 6. NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit medio maj.

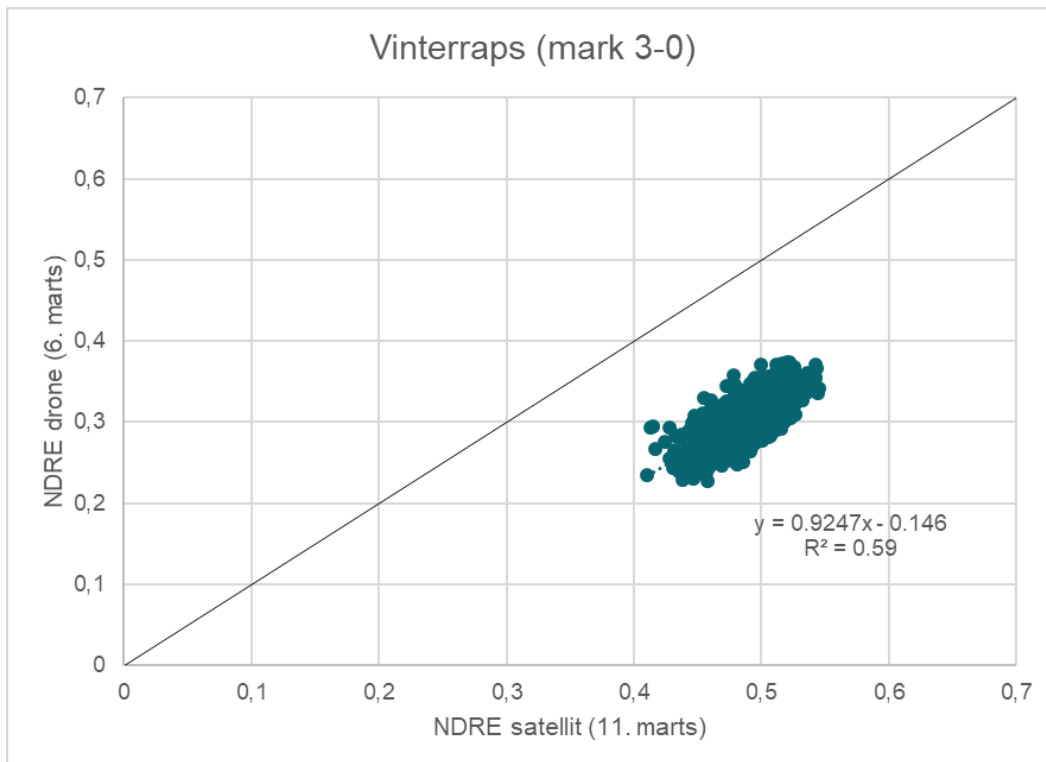
Sammenhængen mellem NDRE målt med drone og satellit er god før anden kvælstoftildeling, men ved tredje kvælstoftildeling medio maj er korrelationen mellem målingerne dårligere i dette forsøg formentlig på grund af mætning af NDRE, antallet af dage mellem de to målinger og begrænset variation i marken (Der ses ligeledes en god sammenhæng mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit).

NDRE målt med drone lå i vinterhvedemarkerne gennemsnitlig 0,12 til 0,22 enhed (27 til 37 pct.) lavere end NDRE målt med satellit, hvilket betyder at resultater fra dronemålinger skal korrigeres før oversættelse til satellit er muligt. Hældningerne i de lineære regressioner varierer mellem marker og tidspunkt i sæsonen, hvilket betyder at sammenhængen mellem NDRE/NDVI målt med drone og NDRE/NDVI målt med satellit ikke er ens på tværs af marker og tidspunkt på vækstsæsonen i 2019.

Forskellen (nm) mellem det drone- og satellitmålte spektrale bånd "Red Edge" anvendt til at beregne NDRE er større end forskellen mellem det røde spektrale bånd der anvendes til at beregne NDVI (se tabel 2 og 3), hvilket kan forklare, at dronemålt NDRE generelt ligger lavere i forhold til satellitmålt NDRE end NDVI.

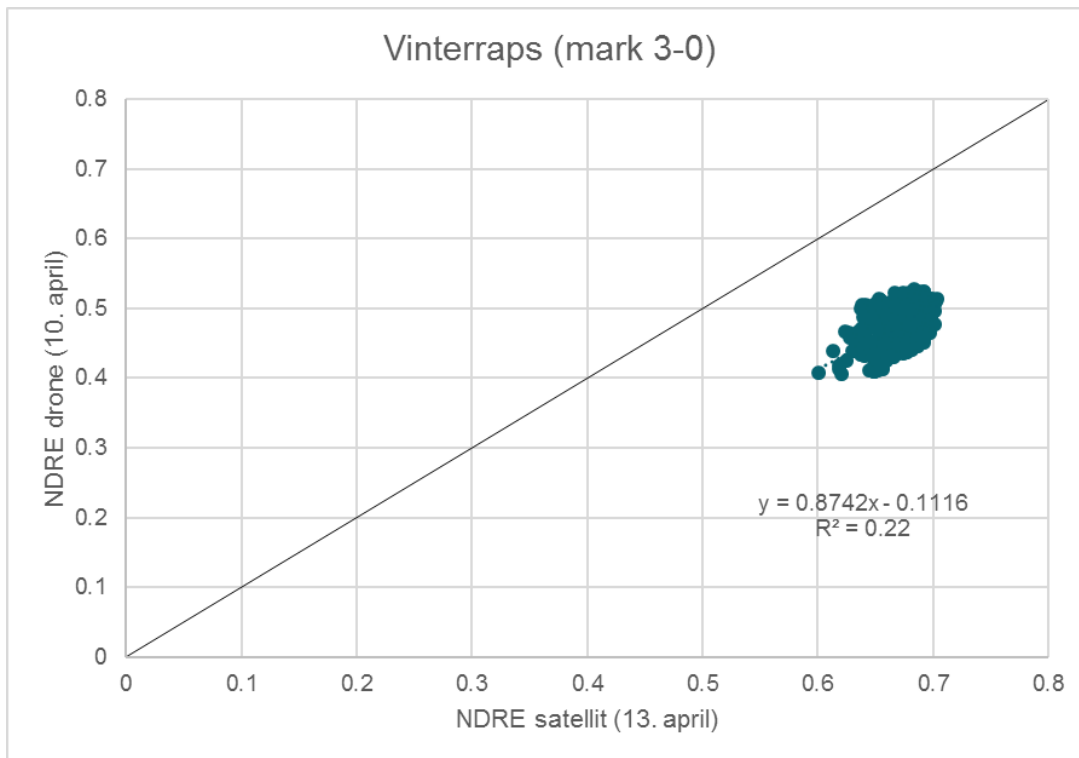
3.1.2 VINTERRAPS

På figur 7 ses NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit medio marts på mark 3-0 med vinterraps. Den gennemsnitlige NDRE målt med drone, indenfor 10 x 10 meters grid, ligger fra 0,22 til 0,37 mens NDRE målt med satellit ligger på 0,41 til 0,54. Variationen i NDRE i marken er derfor begrænset på dette tidspunkt i vækstsæsonen. På trods af en mindre variation i NDRE ses en korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadium 19 medio marts måned ($R^2=0,59$). Ligesom i vinterhvede ligger NDRE målt med drone lavere (0,18 enhed, 38 pct.) end værdier målt med satellit.



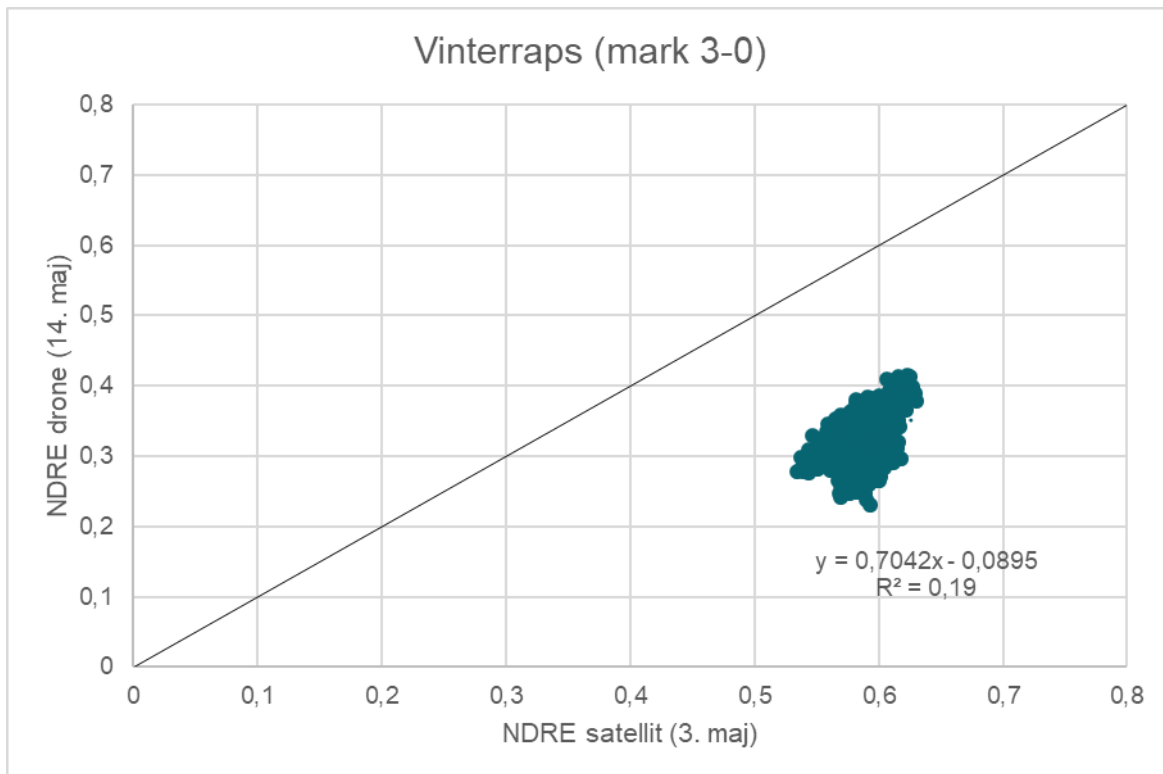
Figur 7. NDRE målt med drone 6. marts som funktion af NDRE målt med satellit 11. marts.

Figur 8 viser NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit medio april. Den gennemsnitlige NDRE målt med drone, indenfor de 10 x 10 meter grid, ligger fra 0,40 til 0,52 mens NDRE målt med satellit ligger fra 0,6 til 0,7. Variationen indenfor marken er mindre end tidligere på sæsonen, hvilket kan forklare den ringe korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadiet 57 ($R^2=0,22$). Mætning af NDRE kan forklare den mindre variation i marken. NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,20 enhed (29 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.



Figur 8. NDRE målt med drone 10. april som funktion af NDRE målt med satellit 13. april.

Figur 9 viser NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit i maj måned. Den gennemsnitlige NDRE målt med drone, indenfor de 10 x 10 meter grid, ligger fra 0,23 til 0,42 mens NDRE målt med satellit ligger fra 0,53 til 0,63. Ligesom tidligere målinger fra marken er variationen i marken lille, hvilket kan forklare den ringe korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadiet 65 ($R^2=0,19$). Mætning af NDRE kan forklare den mindre variation i marken. NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,26 enhed (45 pct.) lavere end NDRE målt med satellit.

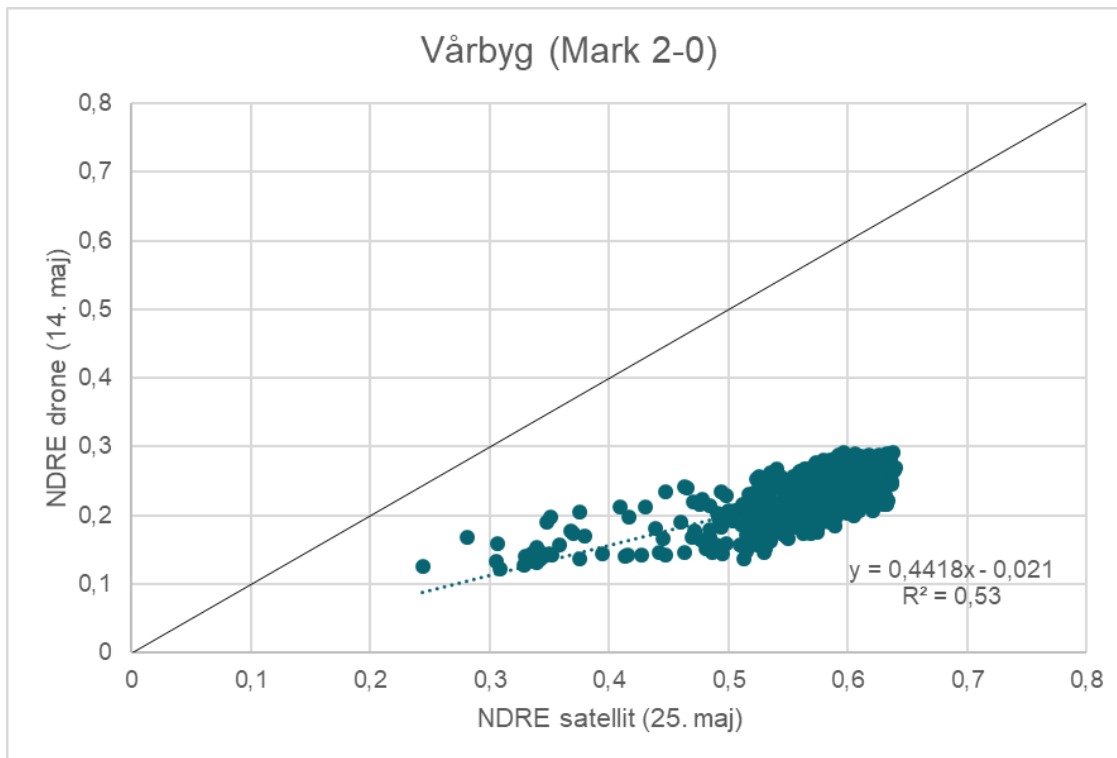


Figur 9. NDRE målt med drone 14. maj som funktion af NDRE målt med satellit 3. maj.

I vinterraps var sammenhængen mellem drone- og satellitmålt NDRE god midt i marts, hvorefter sammenhængen var ringere senere på sæsonen før og under blomstring. I 2019 var vinterrapsen langt fremme tidlig i sæsonen på grund af en mild vinter, hvilket resulterede i en kraftig afgrøde allerede i marts måned. Droneoverflyvninger fra 2018 og 2019 i vinterhvede indikerer, at NDRE mættes omkring 0,6, hvorefter udviklingen i biomassen ikke længere kan detekteres med vegetationsindekset (se Oversigten 2019). Mætning af NDRE i st. 57 og 65 kan forklare, at variationen i marken registreres som værende mindre senere i vækstsæsonen. En anden forklaring kunne være, at variationen i marken er mindre på denne mark senere i sæsonen, hvilket påvirker den lineære sammenhæng. NDRE målt med drone lå gennemsnitlig 0,18 til 0,26 enhed lavere end NDRE målt med satellit, hvilket betyder at resultater fra dronemålinger skal korrigeres før opskalering til satellit er muligt.

3.1.3 VÅRBYG

Figur 10 viser NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit i maj måned i mark 2-0 med vårbyg. Den gennemsnitlige NDRE målt med drone, indenfor de 10 x 10 meter grid, ligger fra 0,12 til 0,29 mens NDRE målt med satellit ligger fra 0,24 til 0,64. I vårbyg ses en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit i vækststadiet 25 medio maj ($R^2=0,53$). NDRE målt med drone ligger gennemsnitlig 0,34 enhed (59 pct.) lavere end NDRE målt med drone.

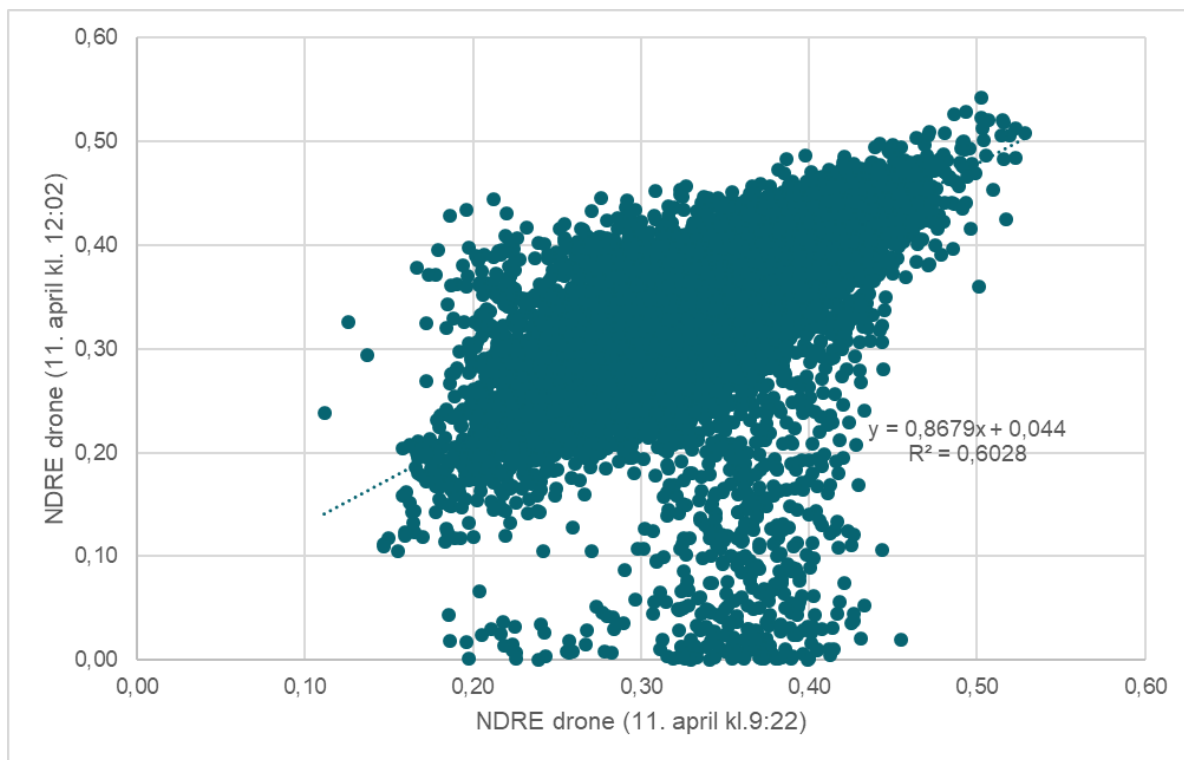


Figur 10. NDRE målt med drone 14. maj som funktion af NDRE målt med satellit 25. maj.

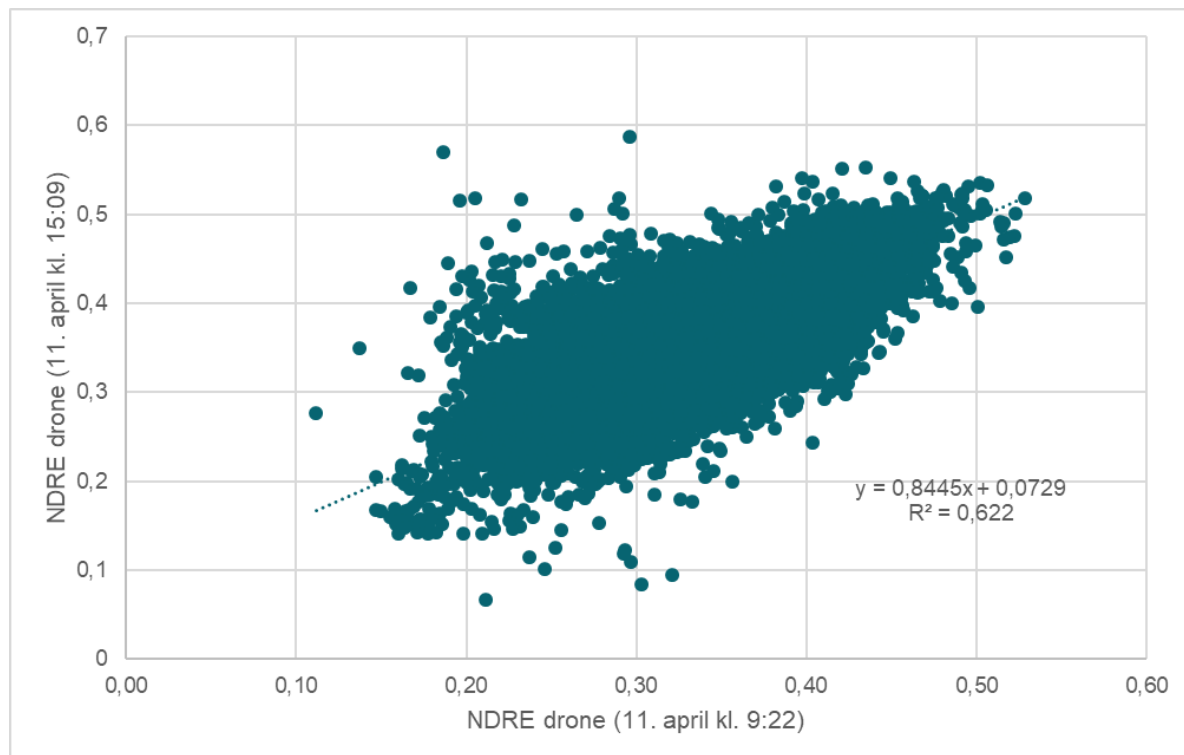
Helmarksforsøgene viser generelt en god korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit før mætning ved en NDRE på ca. 0,6. Flere studier har på samme måde undersøgt sammenhængen mellem forskellige sensorer, og fundet korrelationer mellem biomassemålinger (Caturegli et al., 2015, Xinfeng et al., 2013, Fan et al., 2018 og Steven et al., 2003). Resultaterne fra helmarksforsøgene viser, at NDRE målt med drone ikke direkte kan sammenlignes med NDRE målt med satellit uden en kalibrering mellem målingerne, hvilket stemmer overens med litteraturen på området (Caturegli et al., 2015, Xinfeng et al., 2013, Fan et al., 2018 og Steven et al., 2003). Mætning af NDRE ved omkring 0,6 kunne forklare den mindre variation i markerne senere i vækstsæsonen i forhold til tidligere, og dermed den dårligere sammenhæng mellem drone og satellitmålinger. Der kræves yderligere arbejde for at belyse, hvordan dronemålt NDRE oversættes til satellit på tværs af marker, tidspunkt, og hvis muligt afgrøder.

3.2 Betydningen af overflyvningstidspunkt for biomassen målt med drone

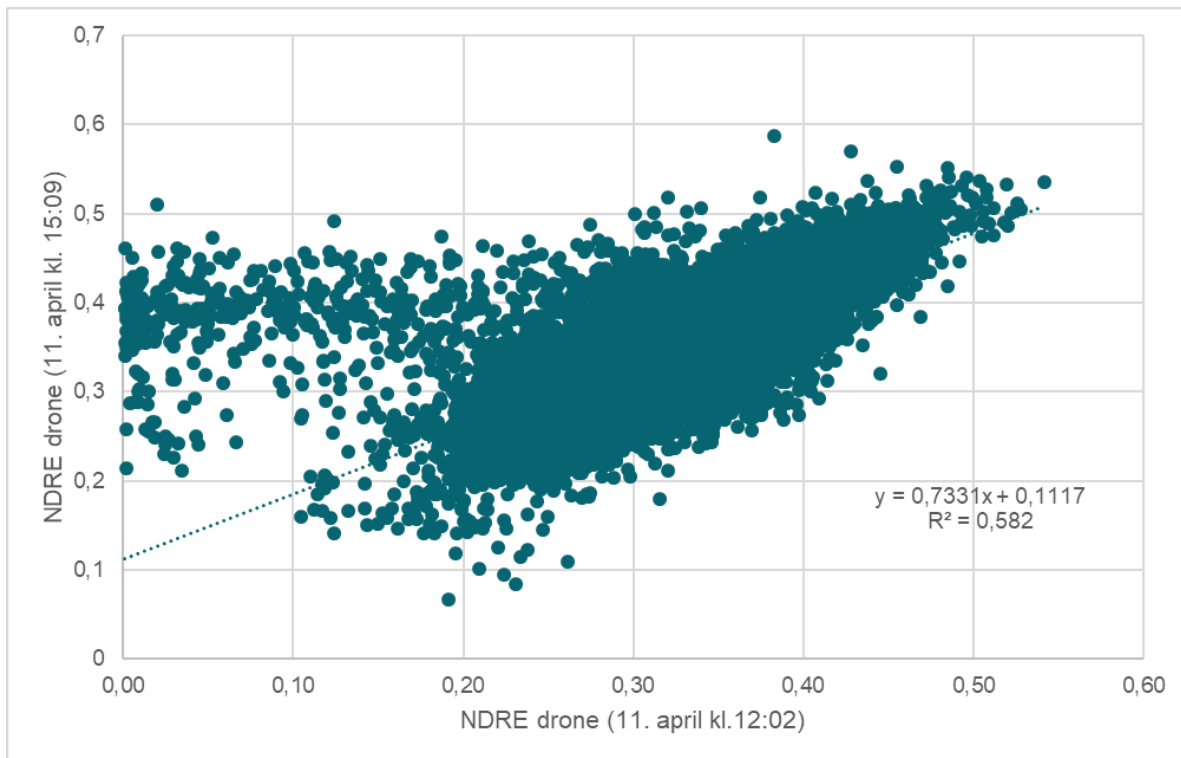
Mark 5-0 med vinterhvede er overfløjet 11. april omkring kl. 9, 12 og 15. På figur 11 ses NDRE målt ved middagstid som funktion af NDRE målt omkring kl. 9. Der ses en sammensammenhæng mellem de to målinger ($R^2=0,60$). Figur 12 viser NDRE målt omkring kl. 15 som funktion af NDRE målt kl. 9. Igen ses en sammenhæng mellem NDRE målt på de to tidspunkter ($R^2=0,62$). Figur 13 viser NDRE målt omkring kl. 15 som funktion af NDRE målt ved middagstid. Der ses en sammenhæng mellem NDRE målt på de to tidspunkter ($R^2=0,58$). I datasættet fra kl. 12 observeres målinger, hvor NDRE estimeres lavt i områder af marken forhold til NDRE målt kl. 9 og 15. Der er signifikant forskel (one-way Anova) mellem NDRE målt på de tre tidspunkter ($p < 0,001$), men gennemsnitlig er forskellen i NDRE 0,02 til 0,03 enhed (figur 11-13) i det store datasæt (minimum 77.000 observationer på 1 x 1 meter) med en gennemsnitlig standardafvigelse (SD) på 0,02. På baggrund af resultaterne vurderes det, at afvigelsen i biomasse (NDRE) mellem de tre måletidspunkter er af en størrelse, som er acceptable til formålet i landsforsøgene samt til oversættelse til satellit.



Figur 11. NDRE målt kl. 12:02 som funktion af NDRE målt kl. 9:22. Datasættet består af 80.481 målepunkter.



Figur 12. NDRE målt kl. 15:09 som funktion af NDRE målt kl. 9:22. Datasættet består af 77.508 målepunkter.



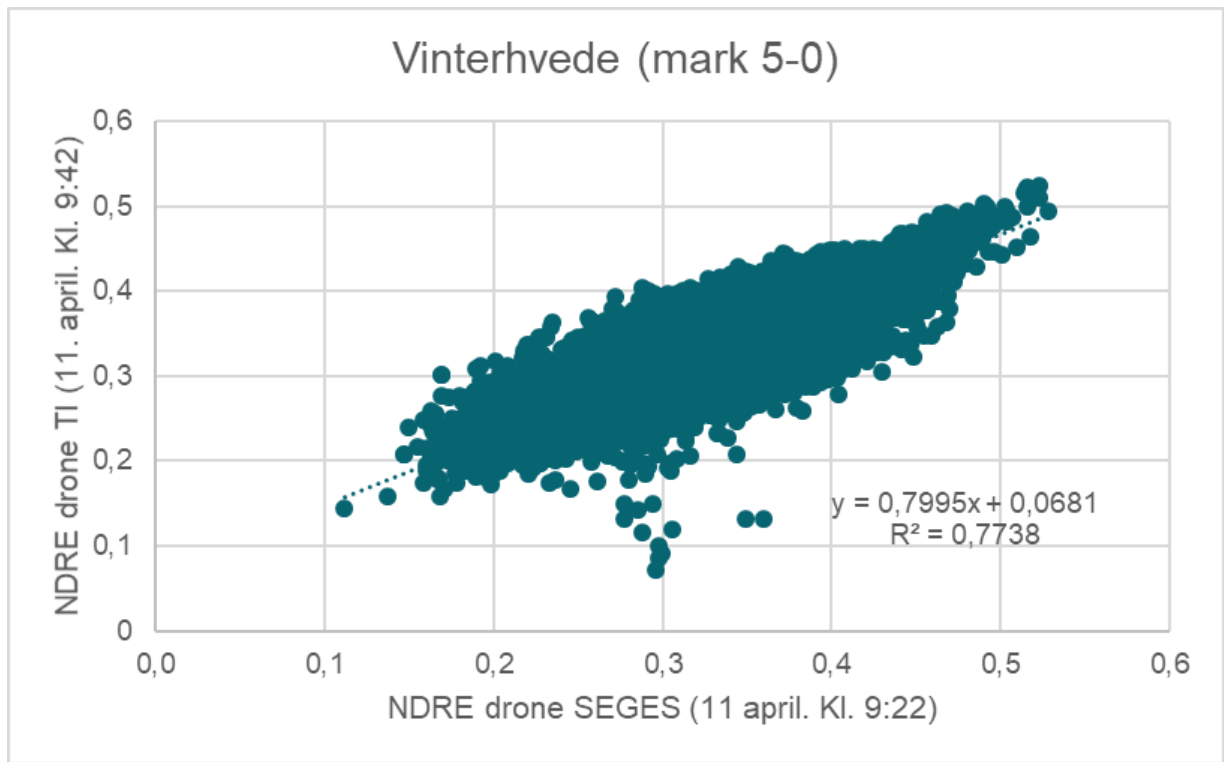
Figur 13. NDRE målt kl. 15:09 som funktion af NDRE målt kl. 12:02. Datasættet består af 78.004 målepunkter.

Fan et al. (2018) og Steven et al. (2003) kom frem til, at forskelle i b.la. indstråling og skydække er vigtige faktorer for usikkerheder mellem biomassemålinger. Helmarksforsøget viste, at forskellene i NDRE mellem måletidspunkterne omkring kl. 9, 12 og 15 var så små, at de i praksis har meget lidt betydning, på trods af at skydække og indstråling varierede mellem måletidspunkterne. Forskellen i NDRE mellem måletidspunkterne er i dette forsøg acceptable, hvilket betyder, at landsforsøgsenhederne for fremtiden kan overflyve landsforsøg på det tidspunkt på dagen som passer ind i forsøgsarbejdet.

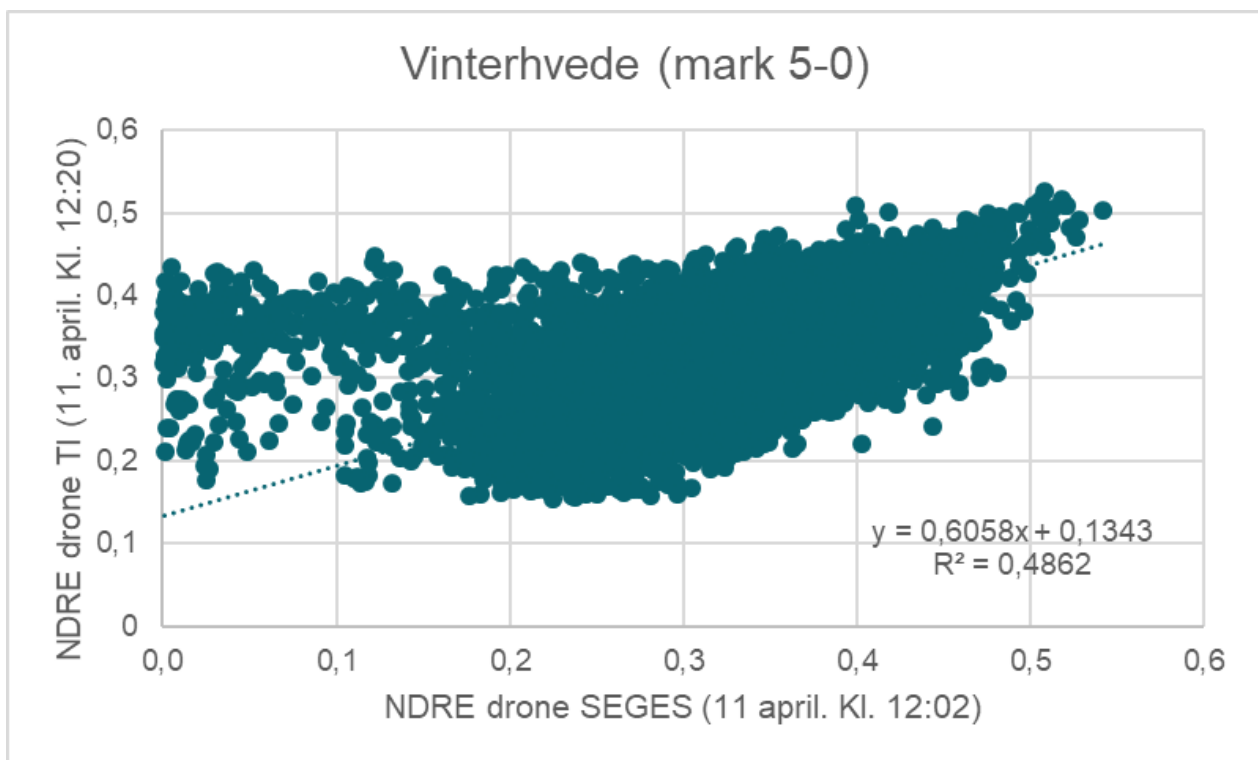
3.3 Betydning af kamera anvendt til biomassemåling med drone

Mark 5-0 med vinterhvede er overfløjet 11. april med to droner (SEGES og TI) monteret med samme type multispektrale kamera. Marken er overfløjet omkring kl. 9, 12 og 15. Til dataanalysen er anvendt 77.261 observationer.

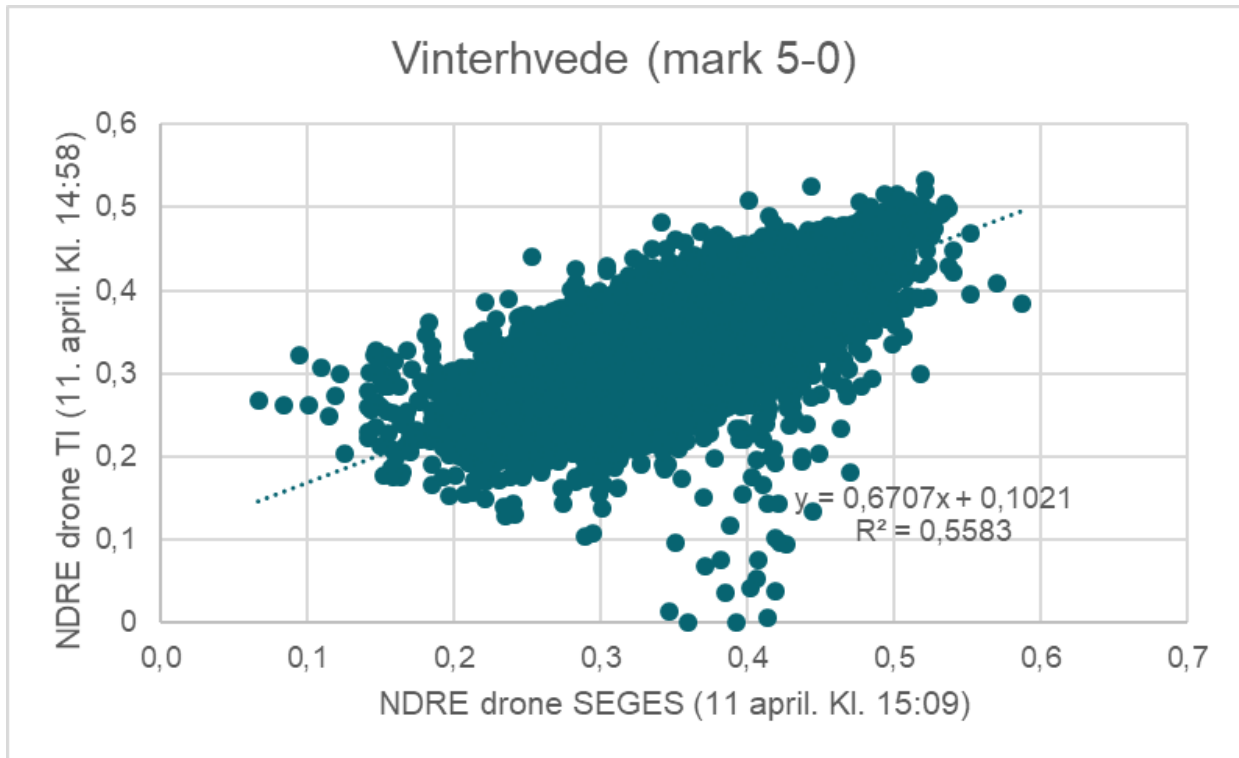
Figur 14 til 16 viser NDRE målt af TI som funktion af NDRE målt af SEGES på omkring samme tidspunkt. Der ses en god sammenhæng mellem målingerne med de to kameraer ($R^2 = 0,49$ til $0,77$), hvor der er signifikant (one-way Anova) forskel mellem biomassemålingerne udført af TI og SEGES omkring kl. 9 og 15 ($p < 0,05$ og $p < 0,01$), mens der ikke er signifikant forskel i NDRE målt med de to kameraer omkring middagstid. På trods af at den statistiske analyse viser signifikante forskelle mellem droneflyvningerne foretaget med forskellige kameraer, så er forskellene i NDRE ubetydelige små med gennemsnitlige forskelle på 0,0002 til 0,017 enhed på de tre måletidspunkter med SD på 0,01 til 0,02.



Figur 14. NDRE målt med drone og kamera fra TI som funktion af NDRE målt med drone og kamera fra SEGES. overflyvningen er fundet sted 11. april i tidsrummet 9.22 til 9.42.



Figur 15. NDRE målt med drone og kamera fra TI som funktion af NDRE målt med drone og kamera fra SEGES. overflyvningen er fundet sted 11. april i tidsrummet 12.20 til 12.02.

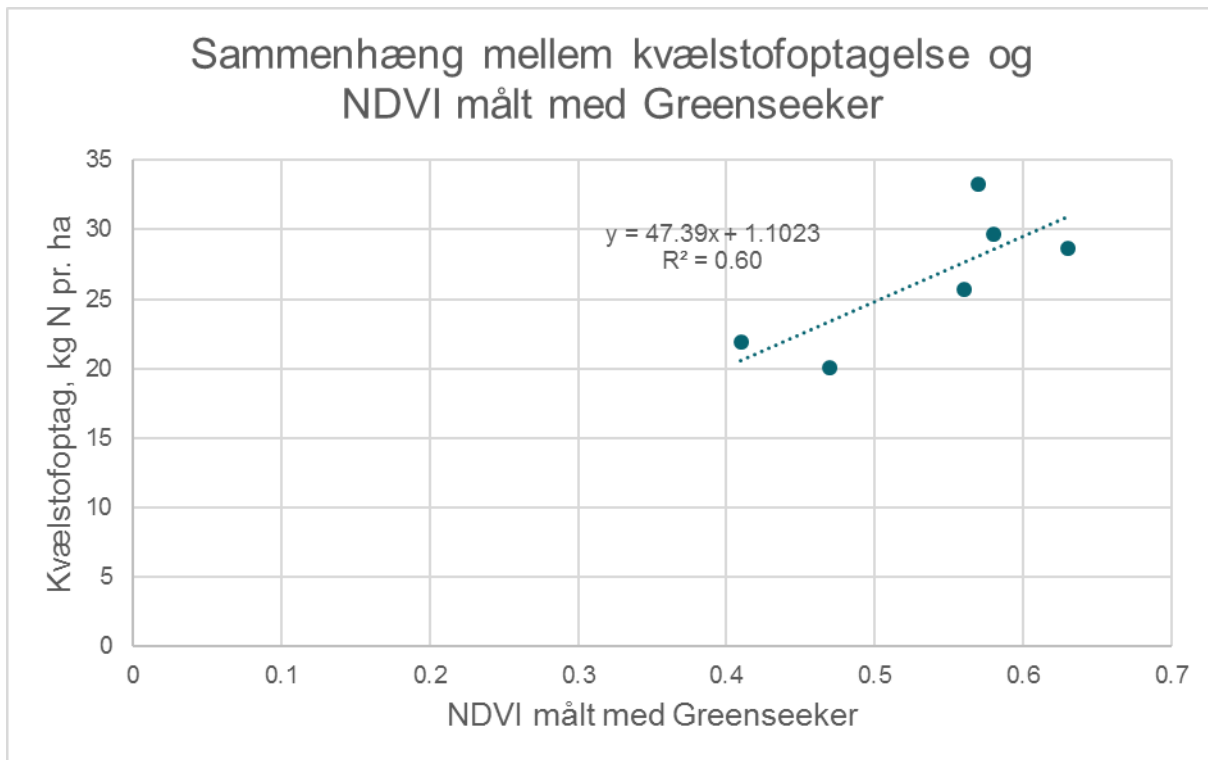


Figur 16. NDRE målt med drone og kamera fra TI som funktion af NDRE målt med drone og kamera fra SEGES. overflyvningen er fundet sted 11. april i tidsrummet 14.58 til 15.09.

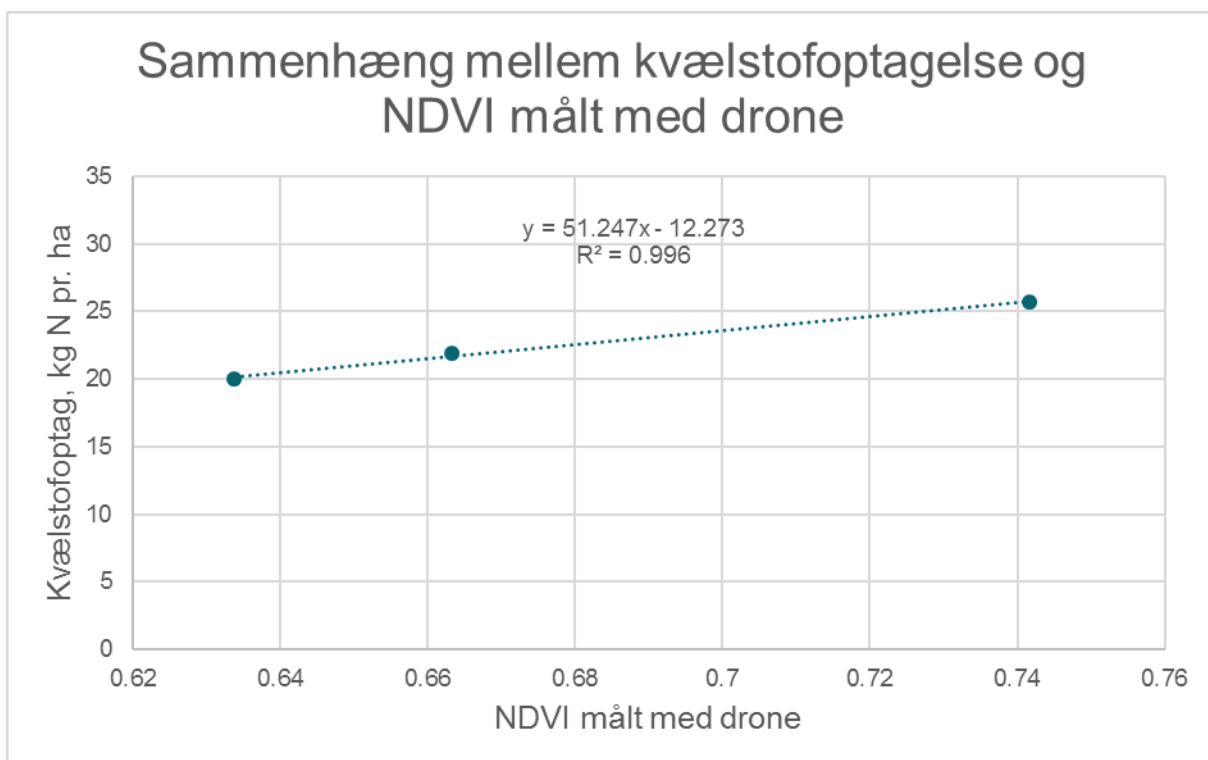
Det har ikke været muligt at finde litteratur som belyser usikkerheden mellem biomassemålinger foretaget med samme type af kameraer/sensorer. Resultaterne fra dette forsøg understøtter dog vurderingen fra Fan et al. (2018) og Steven et al. (2003) om, at usikkerheden mellem biomassemålinger fra samme type kamera/sensorer er af mindre betydning for biomassemålinger.

3.4 Biomasse målinger og kvælstofoptagelse i økologisk vinterhvede

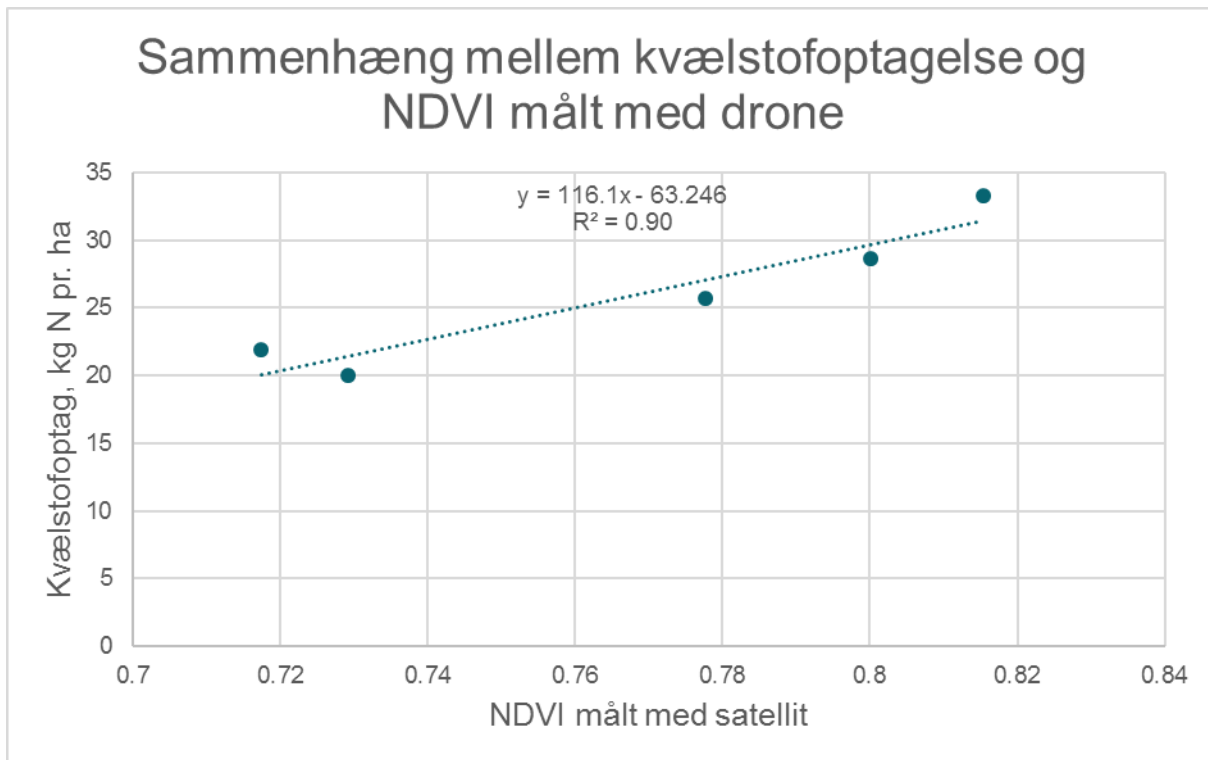
Figur 17-19 viser kvælstofoptag målt vha. planteklip i vækststadiet 32-37 og NDVI målt med henholdsvis Greenseeker, drone og satellit i to økologiske vinterhvedemarker ved Lemvig. Der ses en god sammenhæng mellem kvælstofoptag i punkterne i marken og NDVI målt med Greenseeker, drone og satellit.



Figur 17. NDVI-værdierne holdt op imod kvælstofoptag (kg N pr. ha) målt vha. planteklip. Der ses en god korrelation mellem NDVI målt med Greenseeker 26. marts 2019 og kvælstofoptag på de 2 marker.



Figur 18. NDVI-værdierne holdt op imod kvælstofoptag (kg N pr. ha) målt vha. planteklip. Der ses en god korrelation mellem NDVI målt med drone 26. marts 2019 og kvælstofoptag på mark 43-0. Data for 8-0 præsenteres ikke, men forventes at vise samme billede.



Figur 19. NDVI-værdierne holdt op imod kvælstofoptag (kg N pr. ha) målt vha. planteklip. Der ses en god korrelation mellem NDVI målt med satellit 29. marts 2019 og kvælstofoptag på de 2 marker.

I økologisk planteavl foregår næringsstoffildelingen oftest med gyllevogn. Derfor tildeles der ofte ikke kvælstof flere gange i løbet af vækstsæsonen (før såning og/eller tidligt forår). Det er muligt at slangeudlægge husdyrgødning i voksende afgrøde i starten af foråret (før st. 31), men som oftest ikke igen senere på foråret. En tidlig biomassemåling i en afgrøde med lavt ukrudtstryk kan derfor være brugbar, da det giver mulighed for at graduere husdyrgødning henover marken. Den tidlige biomassemåling kan højne den økologiske planteavlens mulighed til at prioriterer den tilgængelige mængde kvælstof rigtigt i foråret og derved maksimere udbyttet på marken.

Forsøget har ikke belyst ukrudts effekt på biomassemålinger. I økologisk vintersæd er der ofte tale om flere/mange arter, som optager forskellig mængde kvælstof i forskellige tempi. De 2 undersøgte marker havde forskelligt ukrudtstryk (mark 8-0 = 2-3% ukrudt af planteklip; mark 43-0 = 17-24% ukrudt af planteklip), men for begge markers vedkommende var der god og sammenlignelig korrelation mellem kvælstofoptag og NDVI. Det ville være interessant at sammenholde ukrudtstryk og NDVI med udbytte, hvilket ikke har været muligt i denne afprøvning.

3. Konklusion

- Helmarksforsøg med sammenligning af NDRE målt med henholdsvis drone og satellit viser generelt en god korrelation mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit før mætning (ved en NDRE på omkring 0,6).
- NDRE målt med drone ligger konsekvent lavere end NDRE målt med satellit i alle marker overfløjet, og hældningerne i de lineære regressioner varierer, hvilket betyder at sammenhængen mellem NDRE/NDVI målt med drone og NDRE/NDVI målt med satellit ikke er ens på tværs af marker, tidspunkt på vækstsæsonen og afgrøder. Der kræves derfor yderligere arbejde for at belyse, hvordan dronemålt NDRE oversættes til satellit i praksis.
- Overflyvningstidspunkt har i dette forsøg kun mindre betydning for NDRE målt med drone (0,02 til 0,03 enhed) på trods af varierende skydække og indstråling på overflyvningstidspunkterne.
- Målinger med to kamera af samme type (*MicaSense RedEdge Multispektral Camera*) viser små, ubetydelige forskelle i NDRE på mellem 0,0002 til 0,017 enhed.
- Der ses en god sammenhæng mellem kvælstofoptag og NDVI målt med Greenseeker, drone og satellit i økologiske vinterhvedemarker. En tidlig biomassemåling i vinterhvede med lav ukrudtstryk vurderes at kunne bruges til at graduere husdyrgødning i økologiske vinterhvedemarker.

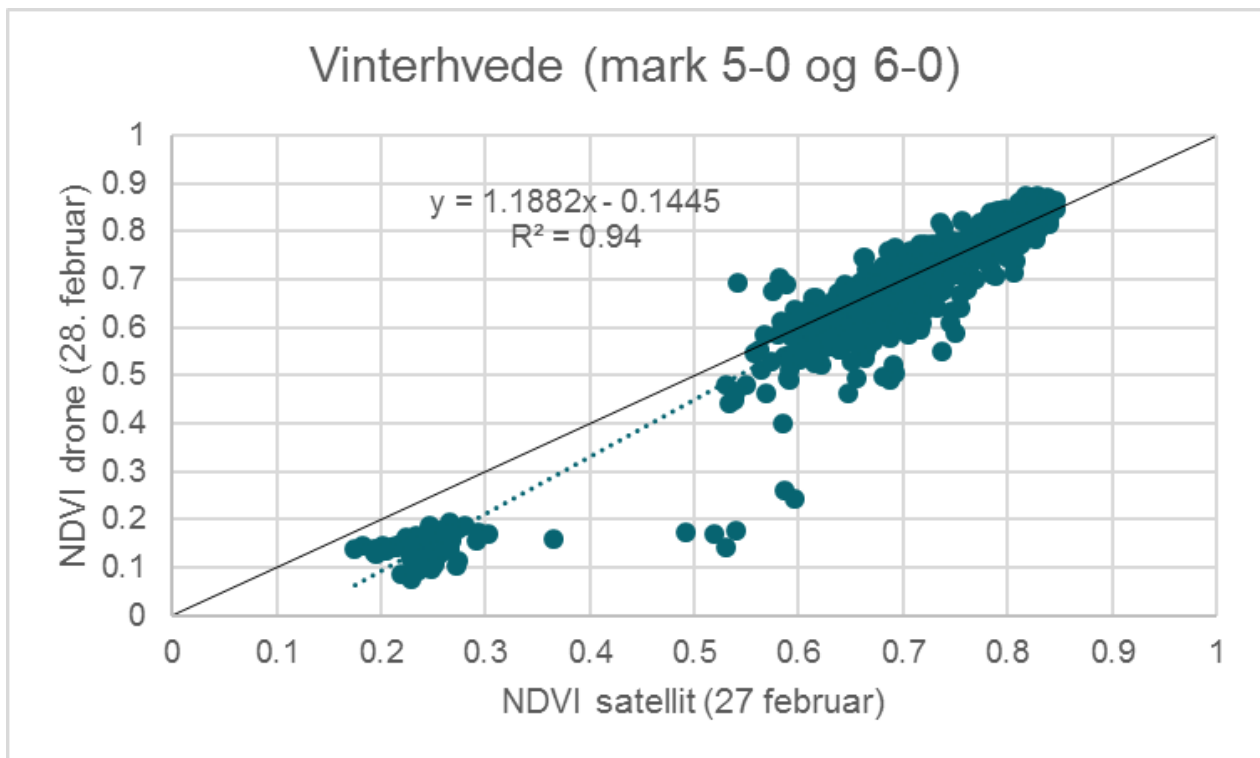
4. Kilder

Fan, Xingwang & Liu, Yuanbo. (2018). Multisensor Normalized Difference Vegetation Index Intercalibration: A Comprehensive Overview of the Causes of and Solutions for Multisensor Differences. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 6. 10.1109/MGRS.2018.2859814.

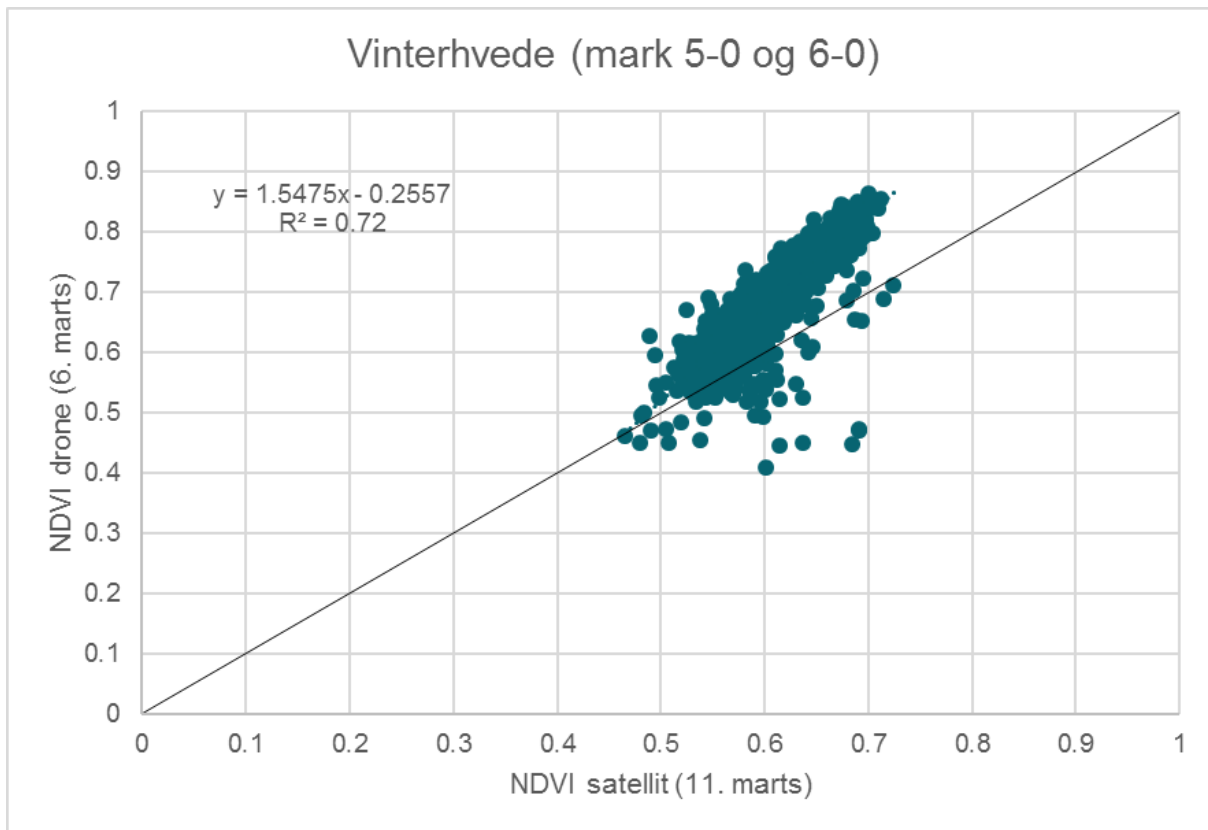
Lisa Caturegli, Marco Casucci, Filippo Lulli, Nicola Grossi, Monica Gaetani, Simone Magni, Enrico Bonari & Marco Volterrani (2015) GeoEye-1 satellite *versus* ground-based multispectral data for estimating nitrogen status of turfgrasses, *International Journal of Remote Sensing*, 36:8, 2238-2251, DOI: [10.1080/01431161.2015.1035409](https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1035409)

Steven, Michael D., et al. "Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems." *Remote Sensing of Environment* 88.4 (2003): 412-422.

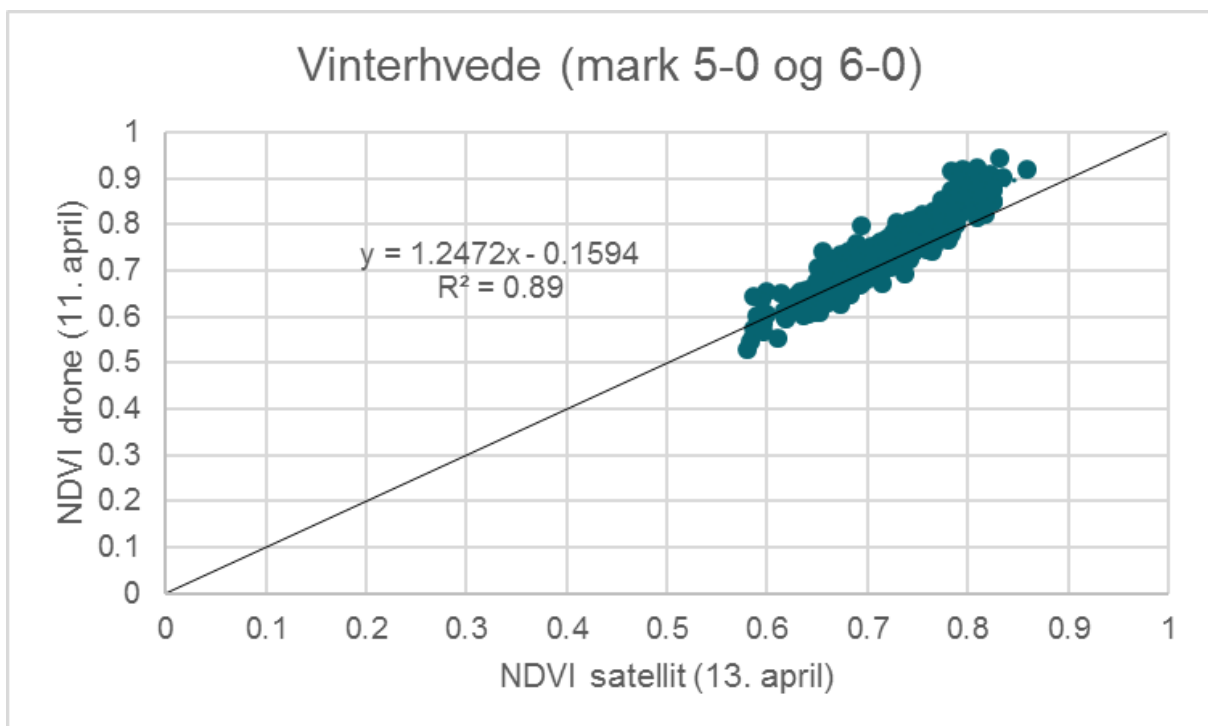
Bilag 1



Figur 20. Sammenhæng mellem NDVI målt med satellit 27. februar og NDVI målt med drone 28. februar i mark 5-0 og 6-0 med vinterhvede.



Figur 21. sammenhæng mellem NDVI målt med satellit 11. marts og NDVI målt med drone 6. marts i mark 5-0 og 6-0 med vinterhvede.



Figur 22. Sammenhæng mellem NDVI målt med satellit 13. april og NDVI målt med drone 11. april i mark 5-0 og 6-0 med vinterhvede.

Tabel 1.

Marknummer	Afgrøde	Dato med drone data	Vækststadie ved drone-overflyvning	Dato med satellit data	Analyseareal ^{**)}	Sammenhæng mellem drone og satellit	R ²	Forskel mellem NDVI
3-1 og 44-0	Vinterhvede	6. marts 10. april 14. Maj	29 31 37	11. marts ^{*)} 13. april 25. maj				
5-0 og 6-0	Vinterhvede	28. februar 6. marts 11. april	29 29 31	27. februar. 11. marts ^{*)} 13. april	16,6 ha (1664) 13,8 ha (1385) 9,0 ha (901)	$y = 1,1882x - 0,1445$ $y = 1,5475x - 0,2557$ $y = 1.2472x - 0,1594$	0,94 0,72 0,89	-0,01 0,08 0,02
3-0	Vinterraps	6. marts 10. april 14. maj	19 57 65	11. marts ^{*)} 13. april 3. maj ^{*)}				
2-0	Vårbyg	14. maj	25	25. maj				

^{*)} Data er hentet fra Sathub uden skytag, som fjerner biomassebilleder med skyer. Efterfølgende er satellitbillederne tjekket for skyer i CropSat. Der kan derfor være sinus-skyer på billederne, der ikke kan detekteres på satellitbillederne i CropSat.

^{**)} Parentesen viser antallet af målepunkter (polygoner på 10 x 10 meter) som ligger til grund for analysen af drone- og satellitdata.

^{***)} NDVI målt med drone (y) og NDVI målt med satellit (x)

SEGES skaber løsninger til fremtidens landbrugs- og fødevarerhverv. Vi udvikler forretningsmuligheder i tæt samarbejde med vores kunder, forskningsinstitutioner og virksomheder over hele verden. SEGES er en del af Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
info@seges.dk
seges.dk

