

OVERSIGT OVER LANDSFORSØGENE 2019

Forsøg og undersøgelser i
Dansk Landbrugsrådgivning

Samlet og udarbejdet af
LANDBRUG & FØDEVARER, PLANTEPRODUKTION
ved chefkonsulent Jon Birger Pedersen

Aktiviteterne er blandt andet støttet af:

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Froafgiftsfonden

Fonden for **økologisk landbrug**

Innovationsfonden

Kartoffelafgiftsfonden



The project has received funding
from the European Union's Horizon
2020 research and innovation
programme under agreement No.
727284



TABEL 10. Resultatet af N-min-analyser begyndelsen af februar og i slutningen af marts.

Jordtype	Bevoksning	Antal	N-min, febr.	N-min, marts	Forskel, kg pr. ha (marts-febr.)
			kg pr. ha	kg pr. ha	
Alle	Alle	21	48	44	-3
JB 2+4	Ubevokset	7	25	25	0
JB 5-9	Ubevokset	7	60	69	9
JB 5-9	Vinterhvede	7	58	40	-18

blev genudtaget sidst i marts. Ingen af markerne er tilført gødning mellem de to prøveudtagnings tidspunkter.

Resultaterne af de 21 N-min-prøver udtaget sidst i marts på samme marker, hvor der blev udtaget N-min-prøver til kvælstofprognosen i begyndelsen af februar, viser et fald på 3 kg kvælstof pr. ha i perioden (se tabel 10). Undersøgelsen giver ikke entydig mulighed for at opdele udvikling i N-min på ekstra mineralisering i jorden, ekstra udvaskning, denitrifikation eller optagelse i vintersæd. Men resultaterne tyder på, at udviklingen i N-min er tæt på det forventede, og at grundlaget for kvælstofprognosen 2019 ikke rykkes væsentligt på trods af 50-70 mm ekstra nedbør i første halvdel af marts. På JB 5-9 på bevoksede arealer er der sket et fald i N-min på 18 kg kvælstof pr. ha fra februar til marts (se tabel 10). Tabet ved udvaskning vil være lavere på bevokset jord end på ubevokset jord, og må derfor antages at have været beskedent. Det vurderes, at faldet i N-min hovedsageligt skyldes optagelse af kvælstof i vintersæden.

Multispektrale billeder og kvælstofoptagelse

> **ASHLEY MONTCALM, LEIF KNUDSEN, METTE KRAMER LANGGAARD OG MIKKEL MØLLER ØSTERHAAB, SEGES**

Traktorsensorer, droner og satellitter måler lyset, som reflekteres fra afgrøden på marken, hvilket er relateret til biomasse (udtrykt ved for eksempel NDVI eller NDRE). Variationen i biomasse kan anvendes til at graduere in-

put som udsæd, næringsstoffer og planteværn. Formålet med denne undersøgelse er at afdække, om multispektrale billeder fra blandt andet droner kan bruges til at bestemme kvælstofoptagelsen i vinterhvede, vårbyg og efterafgrøder gennem vækstsæsonen. Kvælstofoptagelsen i vinterhvede og vårbyg forventes at kunne bruges til at fastlægge restbehovet af kvælstof til afgrøden. Kvælstofoptagelsen i efterafgrøder kan anvendes til at vurdere den årlige effekt på udvaskning og eftervirkning. I praksis anvendes ofte NDVI- eller NDRE-målinger fra satellit. Satellitmålinger har ikke tilstrækkelig opløselighed til at kunne anvendes i parcelforsøg, hvorfor der i stedet anvendes målinger med droner. I dette kapitel belyses også sammenhængen mellem multispektrale satellit- og dronebilleder for at klarlægge, om resultater fra drone-målinger i landsforsøg kan oversættes til satellitmålt biomasse.

Multispektrale kamera monteret på satellit eller drone måler ikke nødvendigvis samme bølglængder/båndbredde eller i samme opløsning. Dronen, som anvendes i forsøgene, er monteret med et multispektralt kamera, som måler reflekterende lys i fem bånd. Se Oversigt over Landsforsøg 2018, side 198. Sentinel satellitterne måler 13 bånd fra 442 til 2.202 nm. Tabel 11 viser de spektrale bånd (bølglængder), som anvendes i eksempelvis CropManager og i Nordic Field Trial Systems til at beregne NDVI og NDRE ud fra henholdsvis satellit og drone. Satellitterne måler en bredere båndbredde, og de centrale bølglængder adskiller sig fra bølglængderne målt med drone. Blandt andet derfor kan NDVI eller NDRE

Vegetationsindeksene NDRE og NDVI mættes på et tidspunkt i vækstsæsonen. Mætning betyder, at indekserne ikke længere kan beskrive udviklingen i biomassen på marken. Biomassen og kvælstofoptagelsen i afgrøden kan altså stige, uden dette kan detekteres ud fra NDRE og NDVI.

TABEL 11. Spektrale bånd fra satellit og drone anvendt til vegetationsindeks.

Bånd navn	Satellit ¹⁾		Drone ²⁾		Vegetationsindeks som anvender bånd
	Central bølglængde (nm)	Båndbredde (nm)	Central bølglængde (nm)	Båndbredde (nm)	
Rød	664,6 - 664,9	31	668	10	NDVI
Red Edge	703,8 - 704,1	15 -16	717	10	NDRE
Infrarød (NIR)	832,8 - 832,9	106	840	40	NDVI og NDRE

¹⁾ Satellitbilleder kan komme fra to kameraer (S2A og S2B), hvorfor den centrale bølglængde og båndbredden kan variere. Forskellen vurderes at være ubetydelig.

²⁾ Dronen er påmonteret et multispektralt kamera fra MicaSense. Se Oversigt over Landsforsøgene 2018, side 198.

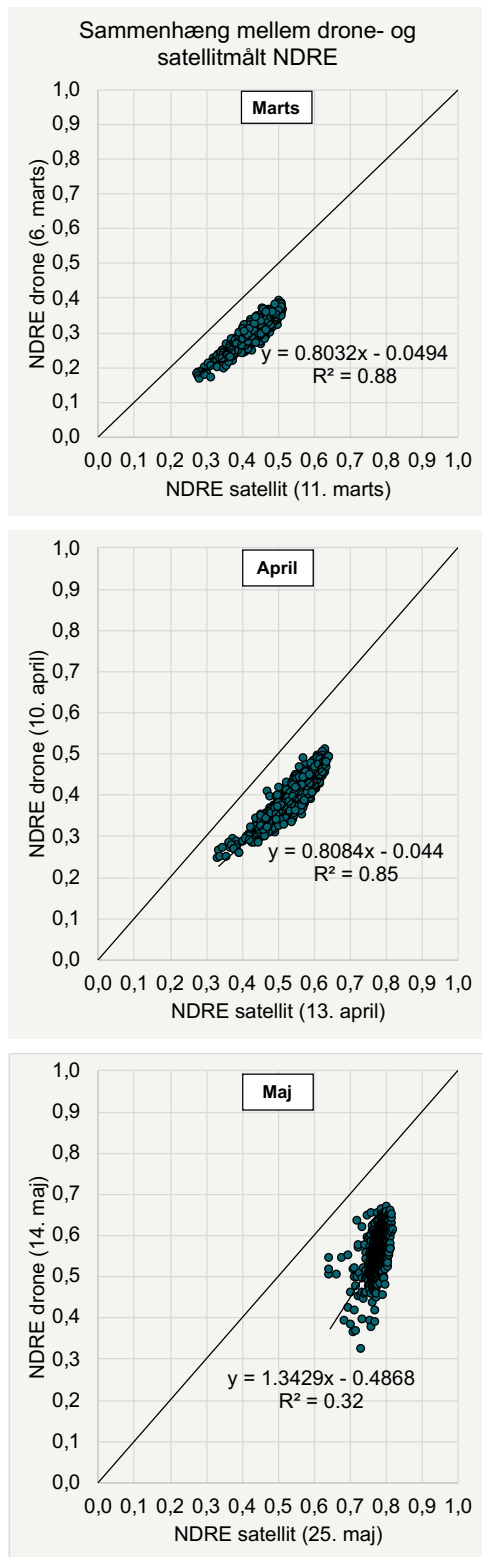
målt med drone eller satellit ikke direkte sammenlignes. Særligt båndet Red Edge, som anvendes i vegetationsindekset NDRE, målt med drone adskiller sig fra Red Edge målt med satellit.

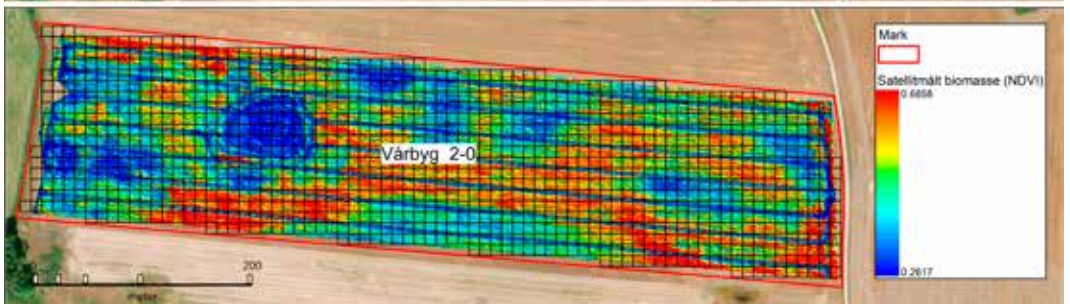
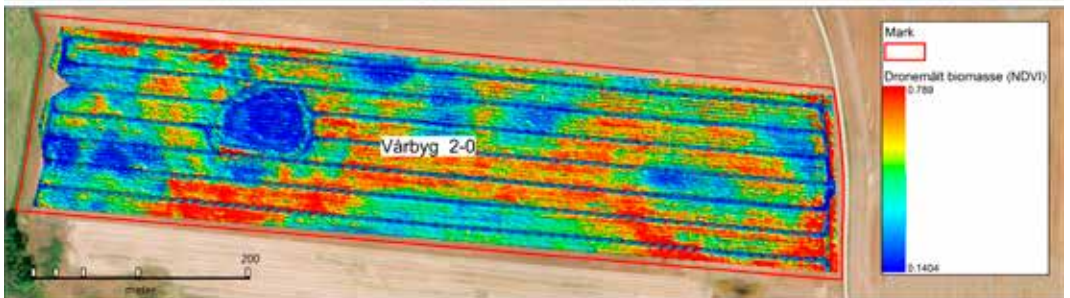
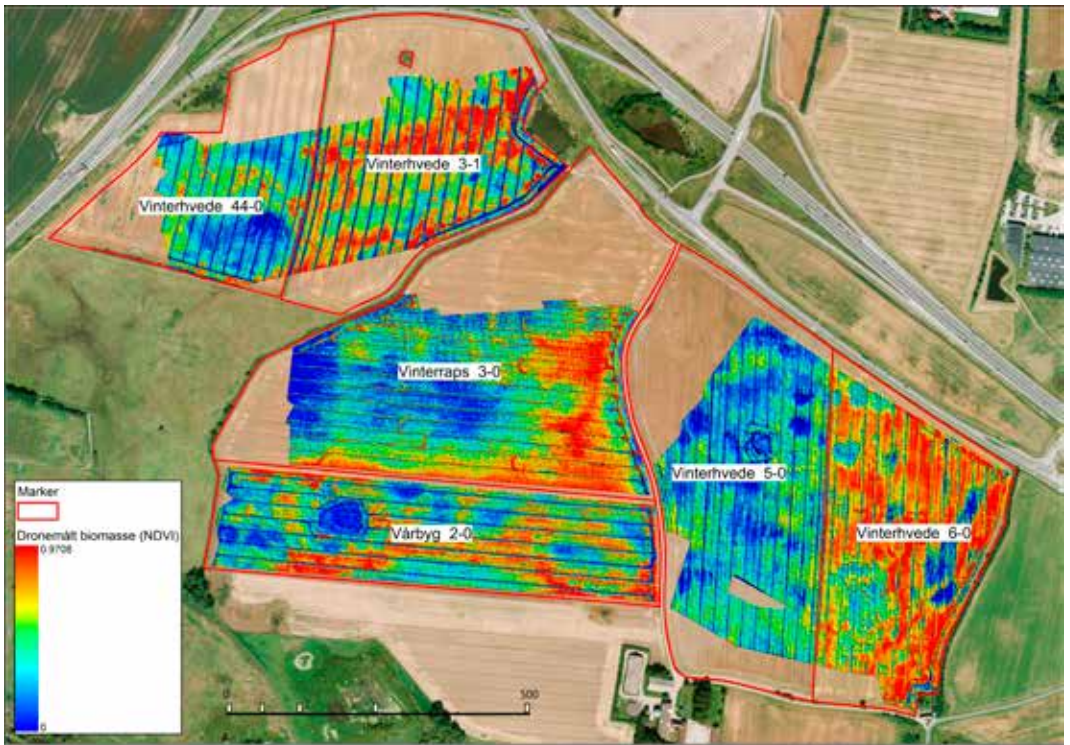
Sammenhæng mellem satellit og dronemålinger

I 2019 er fire marker med vinterhvede, én mark med vinterraps og én mark med vårbyg overfløjet med en drone monteret med et multispektralt kamera. Formålet har været at undersøge sammenhængen mellem NDRE/NDVI målt med drone og NDRE/NDVI målt med satellit. Markerne er overfløjet op til tre gange gennem vækstsæsonen. Der er hentet satellitbilleder fra markerne fra omkring samme tid, som dronemålingerne er udført, hvorefter data er sammenholdt (NDRE og NDVI). Se foto og tabel 12. I analysen er anvendt satellitbilleder med en opløsning på 10x10 meter og dronebilleder med en opløsning på 1x1 meter, hvilket resulterer i 901 til 2.204 observationer pr. mark.

Figur 7 viser NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit i mark 44-0 og 3-1 med vinterhvede. Der er en god sammenhæng mellem drone- og satellitmålt NDRE start marts ($R^2 = 0,88$) og midt i april ($R^2 = 0,85$), mens der observeres en dårligere sammenhæng senere i vækstsæsonen midt i maj ($R^2 = 0,26$) formentlig på grund af mætning af NDRE på dette tidspunkt i vækstsæsonen, samt at satellitmålingen er foretaget 11 dage efter dronemålingen. NDRE målt med drone ligger konsekvent lavere end NDRE målt med satellit. Tabel 12 viser samme tendens i de andre marker med vinterhvede, vinterraps og vårbyg. Der ses ligeledes en god sammenhæng mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit i mark 5-0 og 6-0 i vinterhvede ($R^2 = 0,72$ til $0,94$). NDVI målt med drone ligger i samme niveau som NDVI målt med satellit start februar og midt april, hvilket kunne være et resultat af, at de spektrale bånd anvendt ved beregning af NDVI er mere sammenlignelige ved de to typer af sensorer i forhold til NDRE. I praksis tyder det på, at resultater fra droneoverflyvninger i landsforsøg kan oversættes til satellitmålinger i marken. Der kræves dog yderligere arbejde for at belyse problemstillingen,

FIGUR 7. NDRE målt med drone som funktion af NDRE målt med satellit primo marts, medio april og medio maj på mark 44-0 og 3-1 med vinterhvede. Sammenhængen mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit er sat i relation til 1:1 linjen.





Eksempel på Biomassemåling (NDVI) i fire marker med vinterhvede, en vinterrapsmark og en mark med vårbyg. Øverst ses forsøgsmarkerne samt NDVI målt med drone. De to nederste billeder viser markerne med vårbyg. Første billede viser NDVI målt med drone i en opløsning på 1x1 meter henover markerne. Andet billede viser NDVI målt med satellit i en opløsning på 10x10 meter. Der ses en god overensstemmelse mellem NDVI målt med drone og NDVI målt med satellit.

TABEL 12. Marker overfløjet med drone og satellit monteret med et multispektralt kamera samt dato og vækststadiet for overflyvning. Sidst i tabellen ses den lineære sammenhæng mellem drone- og satellit samt R2.

Marknummer	Afgrøde	Dato for dronebillede	Vækst-stadie	Dato for satellitbillede	Areal analyseret, ha ²⁾	Sammenhæng mellem drone og satellit ³⁾	R2
NDRE							
3-1 og 44-0	Vinterhvede	6. marts	29	11. marts ¹⁾	12,7 (1265)	$y = 0.8032x - 0.0494$	0,88
		10. april	31	13. april	13,5 (1351)	$y = 0.8084x - 0.044$	0,85
		14. maj	37	25. maj	16,2 (1620)	$y = 1.3429x - 0.4868$	0,32
5-0 og 6-0	Vinterhvede	28. februar	29	27. februar	15,6 (1556)	$y = 0.7724x - 0.0645$	0,85
		6. marts	29	11. marts ¹⁾	22,0 (2204)	$y = 1.063x - 0.1453$	0,86
		11. april	31	13. april	11,6 (1159)	$y = 0.941x - 0.1067$	0,80
3-0	Vinterraps	6. marts	19	11. marts ¹⁾	14,9 (1493)	$y = 0.9247x - 0.146$	0,59
		10. april	57	13. april	14,0 (1408)	$y = 0.8742x - 0.1116$	0,22
		14. maj	65	3. maj ¹⁾	13,5 (1353)	$y = 0.7042x - 0.0895$	0,19
2-0	Vårbyg	14. maj	25	25. maj	10,8 (1041)	$y = 0.4418x - 0.021$	0,53
NDVI							
5-0 og 6-0	Vinterhvede	28. februar	29	27. februar	16,6 (1664)	$y = 1.1882x - 0.1445$	0,94
		6. marts	29	11. marts ¹⁾	13,8 (1385)	$y = 1.5475x - 0.2557$	0,72
		11. april	31	13. april	9,0 (901)	$y = 1.2472x - 0.1594$	0,89

¹⁾ Data er hentet fra Sathub uden skylag, som fjerner billeder 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.

²⁾ Parentesen viser antallet af målepunkter (polygoner på 10 x 10 meter) som ligger til grund for analysen af drone- og satellitdata.

³⁾ $y = NDRE/NDVI$ målt med drone og $x = NDRE/NDVI$ målt med satellit.

så der kan findes generelle sammenhænge på tværs af marker, år og hvis muligt, på tværs af afgrøder.

Biomassemålinger og kvælstofoptagelse

Vinterhvede

I 2019 er tre forsøg med stigende mængder kvælstof i vinterhvede overfløjet med drone påmonteret et multispektralt kamera. Formålet med overflyvningerne har været at undersøge, om der er sammenhæng mellem kvælstofoptaget i afgrøden målt ved planteklip og NDRE/NDVI målt med drone. Forsøg fra 2018 viste, at kvælstofoptaget i vinterhvede i vækststadiet 31-57 kan beregnes ud fra NDRE og vækststadiet.

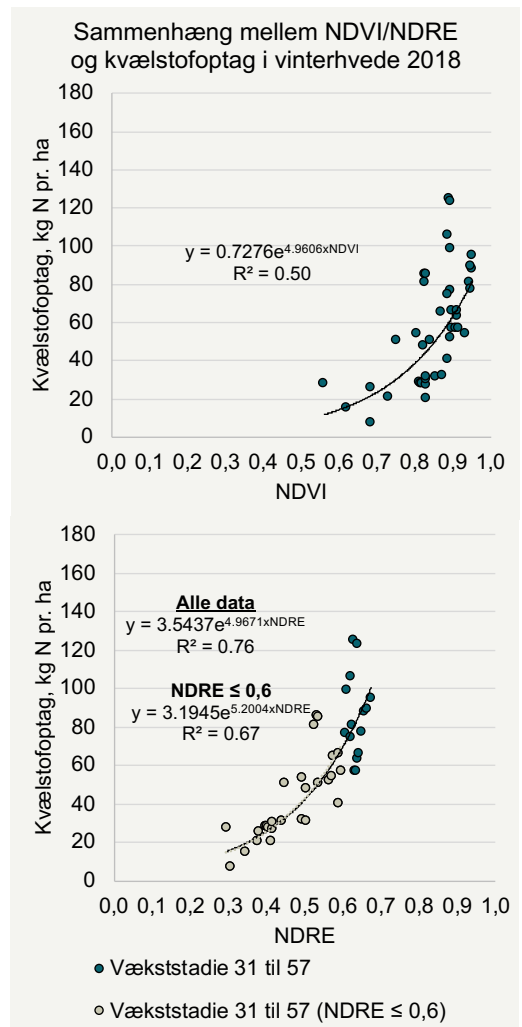
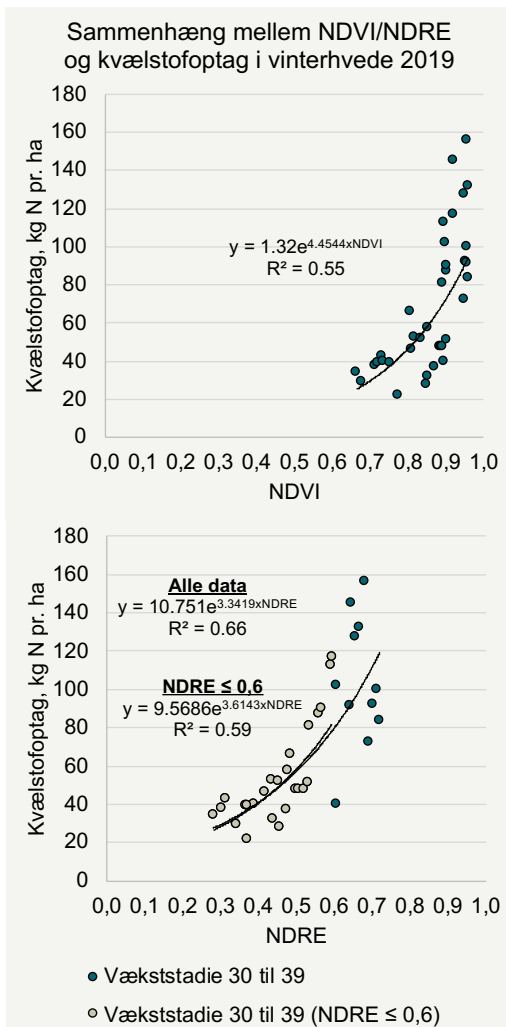
Forsøgene i 2019 er overfløjet op til fem gange gennem vækstsæsonen fra vækststadiet 31-53. Første kvælstoftildeling er sket midt i/sidst i marts (stadie 25-30), anden tildeling i begyndelse af/midt i april (stadie 30-31) og tredje tildeling midt i maj (stadie 37). Der er udtaget planteklip i led 1-3, led 5, 9 og 12 i vækststadiet 30-31, 32 til 35 og 37-39 til analyse for kvælstofindhold.

Figur 8 viser NDVI/NDRE som funktion af kvælstofoptaget i vinterhvede i stadium 30-39 i 2019 og i stadium 31-57 i 2018. I begge år ses en god sammenhæng mellem NDVI/NDRE målt med drone og kvælstofoptaget i afgrøden ($R^2=0,50$ til $0,76$). I praksis betyder det, at en droneoverflyvning i vinterhvede i stadium 30-57 kan vise, hvor meget kvælstof afgrøden har optaget, hvorved de efterfølgende kvælstoftildelinger kan justeres.

Biomassemålinger fra to år viser dog, at kvælstofoptaget ved en NDVI på eksempelvis 0,7 varierer med 6,4 kg kvælstof pr. ha mellem 2018 og 2019. Ved en NDRE på 0,5 varierer kvælstofoptaget med 14,7 kg kvælstof pr. ha mellem de to forsøgsår. Der er en tendens til, at NDVI i 2018 mættes omkring 0,8, mens mætning først ses tydeligt ved NDVI omkring 0,9 i 2019. Det betyder, at det ikke er muligt efter mætning at måle forskel på en afgrøde, som har optaget for eksempel 40 eller 140 kg kvælstof pr. ha. Den samme tendens ses i begge år ved en NDRE over 0,6.

I 2018 viste en statistisk analyse, at kvælstofoptaget i vinterhvede kan beregnes uafhængig af lokalitet ud fra NDRE og vækststadiet. Figur 9 viser det målte kvælstofoptag ved planteklip som funktion af det beregnede kvælstofoptag for 2018 og 2019. Der er en god lineær sammenhæng mellem det målte og det beregnede kvælstofoptag, men afvigelsen fra linjen stiger med kvælstofoptagelsen.

I 2019 er det undersøgt, om andre vegetationsindeks eller spektrale bånd end NDVI og NDRE giver yderligere information om kvælstofoptagelsen i vinterhvede. I den statistiske analyse er anvendt seks forsøg i vinterhvede fra 2018 og 2019 med stigende mængder kvælstof, hvor der er udført planteklip og droneoverflyvninger. Prædiktionssevnen af 61 forskellige vegetationsindeks og spektrale bånd er undersøgt. Den statistiske analyse viser, at kvælstofoptaget i vinterhvede fra vækststadiet 30-57



FIGUR 8. Kvælstofoptagelse i vinterhvede som funktion af NDVI/NDRE i vækststadie 30-39 i 2019 og vækststadie 31-57 i 2018. Der er 36 observationer fra tre forsøg i 2019 (001, 002 og 003) og 42 observationer fra tre forsøg i 2018 (003, 004 og 005).

kan beskrives ud fra NDRE og NDVI, men vegetationsindeks, der anvender henholdsvis det grønne og det røde spektrale bånd, beskriver kvælstofoptaget bedre med en prædiktionssevne på ned til $\pm 7,1$ kg kvælstof pr. ha (RMSEP). Til sammenligning beskriver NDRE og NDVI kvælstofoptaget med en prædiktionssevne på henholdsvis $\pm 9,3$ til $9,9$ kg kvælstof pr. ha.

Forsøgene fortsætter i 2020.

Vårbyg

I foråret og sommeren 2019 er der gennemført ét forsøg i vårbyg på JB 6 i Ringsted. Der er målt NDRE og NDVI

ved hjælp af en drone monteret med et multispektralt kamera. Formålet har været at undersøge sammenhængen mellem kvælstofoptagelse i afgrøden målt ved planteklip og NDRE/NDVI målt med drone. Planteprøver er udtaget ved forskellige vækststadier for at undersøge korrelation mellem NDRE/NDVI-målinger og den faktiske kvælstofoptagelse målt med planteklip.

Der ses en god sammenhæng mellem kvælstofoptagelse og NDRE/NDVI i vækststadie 25-30 (NDRE: $R^2=0,88$ og NDVI: $R^2=0,91$). Se figur 10.

Forsøgene fortsætter i 2020.