

Bestemmelse af kvælstofoptagelse ud fra multispektrale billeder - i vinterhvede og vårbyg

Af Mette Kramer Langgaard og Leif Knudsen

Plante- og MiljøInnovation, SEGES

Sammendrag

Tre års forsøg i vinterhvede og 2 års forsøg i vårbyg med droneoverflyvninger og planteklip har vist en god sammenhæng mellem kvælstofoptagelse i afgrøden og NDRE fra vækststadium 28-57 i vinterhvede og vækststadium 25-52 i vårbyg. I vinterhvede viste en statistisk analyse, at kvælstofoptagelsen i vækststadium 28-57 kan beregnes ud fra NDRE alene med en spredning på modellen på gennemsnitlig 16 kg N pr. ha. I praksis betyder det, at en droneoverflyvning i vækststadium 37 i vinterhvede og vækststadium 30-32 i vårbyg kan vise, hvor meget kvælstof afgrøden har optaget, hvorved de efterfølgende kvælstoftildelinger kan justeres.

Aarhus universitet har udført lignende forsøg, og i første kvartal i 2021 undersøges det, om data fra landforsøgene kan samles med data fra Aarhus Universitet for at styrke sammenhæng mellem NDRE og kvælstofoptagelse i vinterhvede og vårbyg. En statistisk analyse skal ligeledes afdække robustheden af modellerne, hvor det ligeledes skal undersøges om samme model kan anvendes til vinterhvede og vårbyg.

Forsøg fra 2019 viser en god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og NDRE målt med satellit frem til mætning, men sammenhængen var ikke ens mellem marker og måletidspunkter. Det er derfor ikke klarlagt endnu, hvordan resultaterne fra forsøgene oversættes fra dronemålt NDRE til NDRE målt med satellit. Dette skal ligeledes fastlægges i 2021.

Introduktion

I 2019 påbegyndte projektet N-Tool-Precise, der er støttet af GUDP og Promilleafgiftsfonden og som løber til og med 2022. I projektet udvikles et værktøj, der kan bestemme restbehovet for kvælstof ud fra satellitmålinger kombineret med jord- og dyrkningsdata. Grundtanken i modellen er, at landmanden til vinterhvede tilfører 50 kg kvælstof pr. ha mindre end det forventede kvælstofbehov ved første og anden kvælstoftildeling i marts og april. Hvor meget kvælstof, der yderligere skal tilføres, afgøres af satellitmålinger i stadium 37 medio maj kombineret med jord- og dyrkningsdata. Landmanden skal løbende kunne se restbehovet i de enkelte marker online i sit gødningsplanlægningsprogram. Ud over at virke på markniveau skal modellen også virke på positionsniveau, så den kan anvendes til at gradere kvælstof indenfor marken.

Formål

Formålet med dette notat er at klarlægge, om multispektrale billeder fra blandt andet droner kan bruges til at bestemme kvælstofoptagelsen i vinterhvede og vårbyg gennem vækstsæsonen.

Kvælstofoptagelsen i vinterhvede og vårbyg forventes at kunne bruges til at fastlægge restbehovet af kvælstof til afgrøden. I praksis anvendes ofte NDVI - eller NDRE-målinger fra satellit, men opløseligheden er ikke tilstrækkelig til at kunne anvendes i parcellforsøg, hvorfor der i stedet anvendes droner.

Baggrund

Biomassemålinger fra drone eller satellit udtrykkes ved brug af vegetationsindeksene NDRE og NDVI. De to vegetationsindeks, som anvendes i databehandlingen, er udregnet ud fra følgende bølgelængder målt med henholdsvis drone og satellit.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Rød}) / (\text{NIR} + \text{Rød})$$

$$\text{NDRE} = (\text{NIR} - \text{Red Edge}) / (\text{NIR} + \text{Red Edge})$$

Multispektrale kamera monteret på satellit, drone eller andet måler ikke nødvendigvis samme bølgelængder/båndbredde eller i samme opløsning. Dronen, som anvendes i forsøgene, er monteret med et multispektralt kamera fra MicaSense (*MicaSense RedEdge Multispektral Kamera*), som måler reflekterende lys i fem bånd. Det blå (ved 474 nm), grønne (560 nm), røde (668 nm), Red Edge (717 nm) og det infrarøde bånd (840 nm). Tabel 1 viser de spektrale bånd som anvendes i denne analyse m.m. til at beregne NDVI og NDRE ud fra henholdsvis satellit og drone. Satellitterne måler en bredere båndbredde og de centrale bølgelængder adskiller sig fra bølgelængderne målt med drone. Blandt andet derfor kan NDVI eller NDRE målt med drone eller satellit ikke umiddelbart sammenlignes. Særligt båndet Red Edge, som anvendes i vegetationsindekset NDRE, målt med drone adskiller sig fra Red Edge målt med satellit.

Tabel 1. Spektrale bånd fra satellit og drone anvendt til vegetationsindeksene NDRE og NDVI i denne analyse.

Bånd navn	Satellit ¹⁾		Drone ²⁾		Vegetationsindeks som anvender bånd
	Central bølgelængde (nm)	Båndbredde (nm)	Central bølgelængde (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 anvendt kan komme fra to kameraer (S2A og S2B), hvorfor den centrale bølgelængde og båndbredden kan variere. Forskellen vurderes at være ubetydelig.

²⁾ Dronen er påmonteret et multispektralt kamera fra MicaSense (*MicaSense RedEdge Multispektral Kamera*).

Aarhus Universitet har udført lignende forsøg med planteklip og dronemålinger i vinterhvede og vårbyg, men da kameraet på denne drone måler i andre bølgelængder/bånd og båndbredder end kameraet anvendt i landforsøgene, har det ikke været muligt at samle data. Se bilag 1. I første kvartal 2021 undersøges det, om data fra landforsøgene kan samles med data fra Aarhus Universitet for at styrke sammenhæng mellem NDRE og kvælstofoptagelse i vinterhvede og vårbyg.

I 2019 blev marker med vinterhvede, vinterraps og vårbyg overfløjet med drone tre gange i vækstsæsonen. Der blev hentet satellitbilleder fra markerne fra omkring samme tid som dronemålingerne blev udført, for at sammenholde NDRE målt med henholdsvis satellit eller drone. Analysen viste en god sammenhæng mellem drone- og satellitmålt NDRE i vinterhvede, vinterraps og vårbyg frem til mætning. Sammenhængen var dog ikke ens mellem marker og måletidspunkter, hvilket gør det mere kompliceret at oversætte resultater fra dronemålinger til satellit (læs mere).

Materialer og metoder

Fra 2018-2020 er 9 forsøg i vinterhvede med stigende mængder kvælstof overfløjet med drone op til syv gange gennem vækstsæsonen. Forsøgene er blevet tildelt fra 0-300 kg kvælstof pr. ha fra én til tre tildelinger, og der er udtaget planteklip i udvalgte forsøgsled i vækststadiet 28-57 til analyse for kvælstofindhold.

I analysen for vinterhvede er anvendt data fra enkeltforsøg 003, 004 og 005 i forsøgsserie 070301818 fra 2018, enkeltforsøg 001, 002 og 003 i forsøgsserie 070011919 fra 2019 og enkeltforsøg 001, 002 og 003 i forsøgsserie 070012020.

Fra 2019-2020 er der gennemført tre forsøg i vårbyg med stigende mængder kvælstof. Forsøgene er tildelt fra 0-200 kg N pr. ha midt i marts. Forsøgene er overfløjet med drone fem gange gennem vækstsæsonen, og der er udtaget tre planteklip i vækststadium 25-52.

I analysen for vårbyg er anvendt data fra enkeltforsøg 002 i forsøgsserie 070071919 og forsøg 001 og 002 i forsøgsserie 070072020.

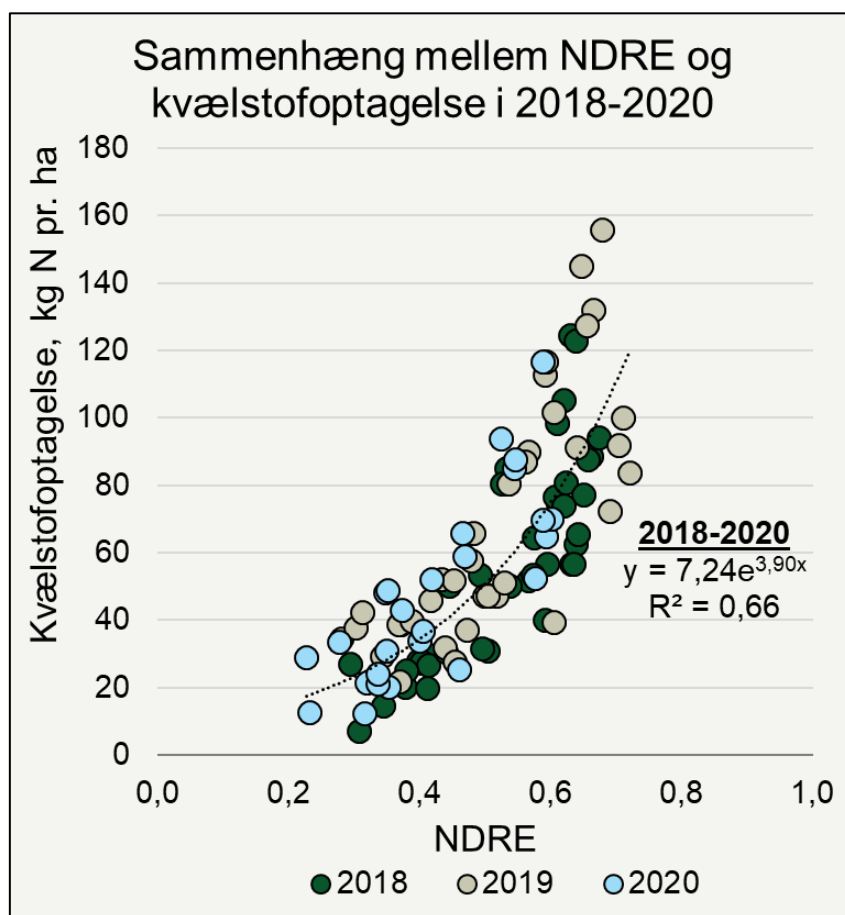
Resultater

Biomassemålinger og kvælstofoptag

Vinterhvede

Figur 1 viser kvælstofoptagelsen i vinterhvede i vækststadium 28-57 som funktion af NDRE i 2018-2020. Der observeres god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og kvælstofoptagelsen i afgrøden ($R^2 = 0,66$). NDRE kan forklare 66 pct. af variationen i kvælstofoptaget. Figuren illustrer også en klar sammenhæng mellem kvælstofoptagelse og NDRE alle år ($R^2=0,65-0,76$).

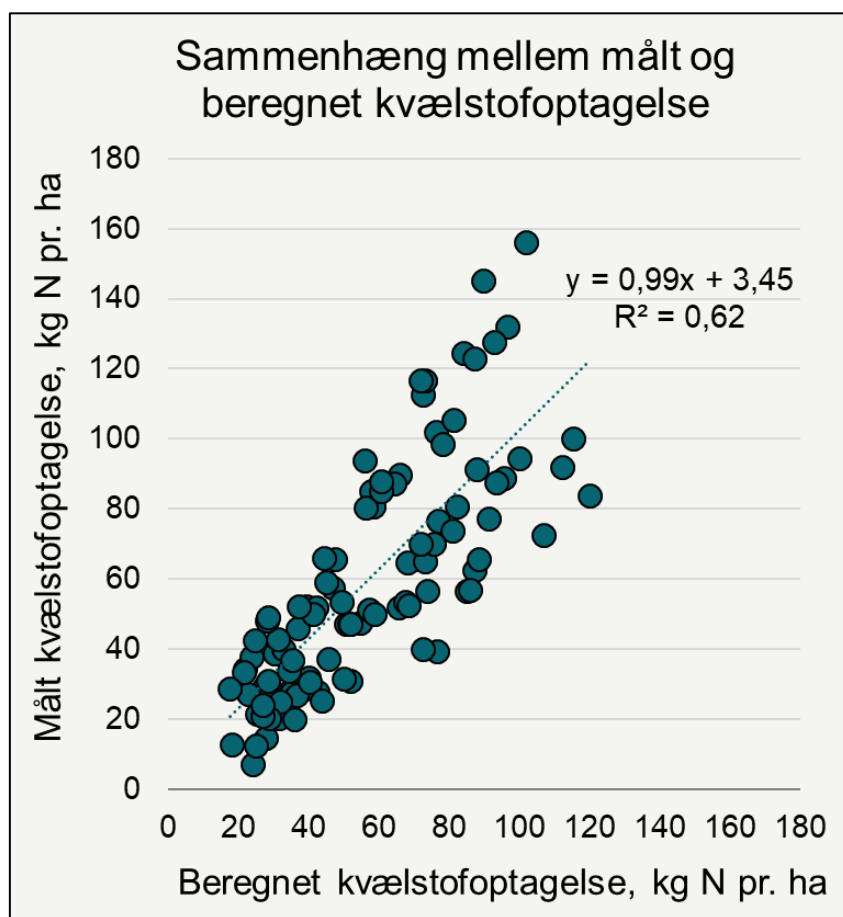
NDRE mættes omkring 0,6, hvilket betyder, at det herefter ikke er muligt med sikkerhed at måle forskel på, om en afgrøde har optaget 40 eller 120 kg kvælstof pr. ha. Den samme tendens ses i alle år ved en NDRE over 0,6.



Figur 1. Kvælstofoptagelse i vinterhvede som funktion af NDRE fra vækststadium 28-57 i 2018-2020. Der er 42 observationer fra tre forsøg i 2018 (003, 004 og 005), 36 observationer fra tre forsøg i 2019 (001, 002 og 003) og 26 observationer fra tre forsøg i 2020 (001, 002 og 003).

I 2018 viste en statistisk analyse, at kvælstofoptagelsen i vinterhvede kan beregnes uafhængig af lokalitet ud fra NDRE og vækststadium. En regressionsstatistisk analyse udført på data fra alle tre år viser derimod, at kvælstofoptaget i vinterhvede kan beregnes ud fra NDRE (p -værdi $< 0,001$) alene, og at modellen ikke forbedres ved at inkludere vækststadium og/eller graddage (p -værdi $= 0,3-0,8$). Analysen viser en spredning på 16 kg kvælstof pr. ha på sammenhængen.

Figur 2 viser den målte kvælstofoptagelse ved planteklip som funktion af den beregnede kvælstofoptagelse for 2018-2020 ($Kvælstofoptagelse \text{ i kg kvælstof pr. ha} = e^{(1,98 + (3,90 \times NDRE))}$). Modellen for kvælstofoptagelse i vinterhvede er udviklet ud fra forsøgsdataene fra 2018-2020. Der er en god lineær sammenhæng mellem det målte og det beregnede kvælstofoptag ($R^2 = 0,62$), men afvigelsen fra linjen stiger med kvælstofoptagelsen.



Figur 2. Kvælstofoptagelse i vinterhvede i 2018-2019 målt ved planteklip fra vækststadiet 28 til 57 som funktion af kvælstofoptagelse beregnet ud fra NDRE. Modellen er udviklet ud fra samme forsøgsdata som den testes mod. Spredningen på sammenhængen (RMSE) er 16 kg kvælstof pr. ha.

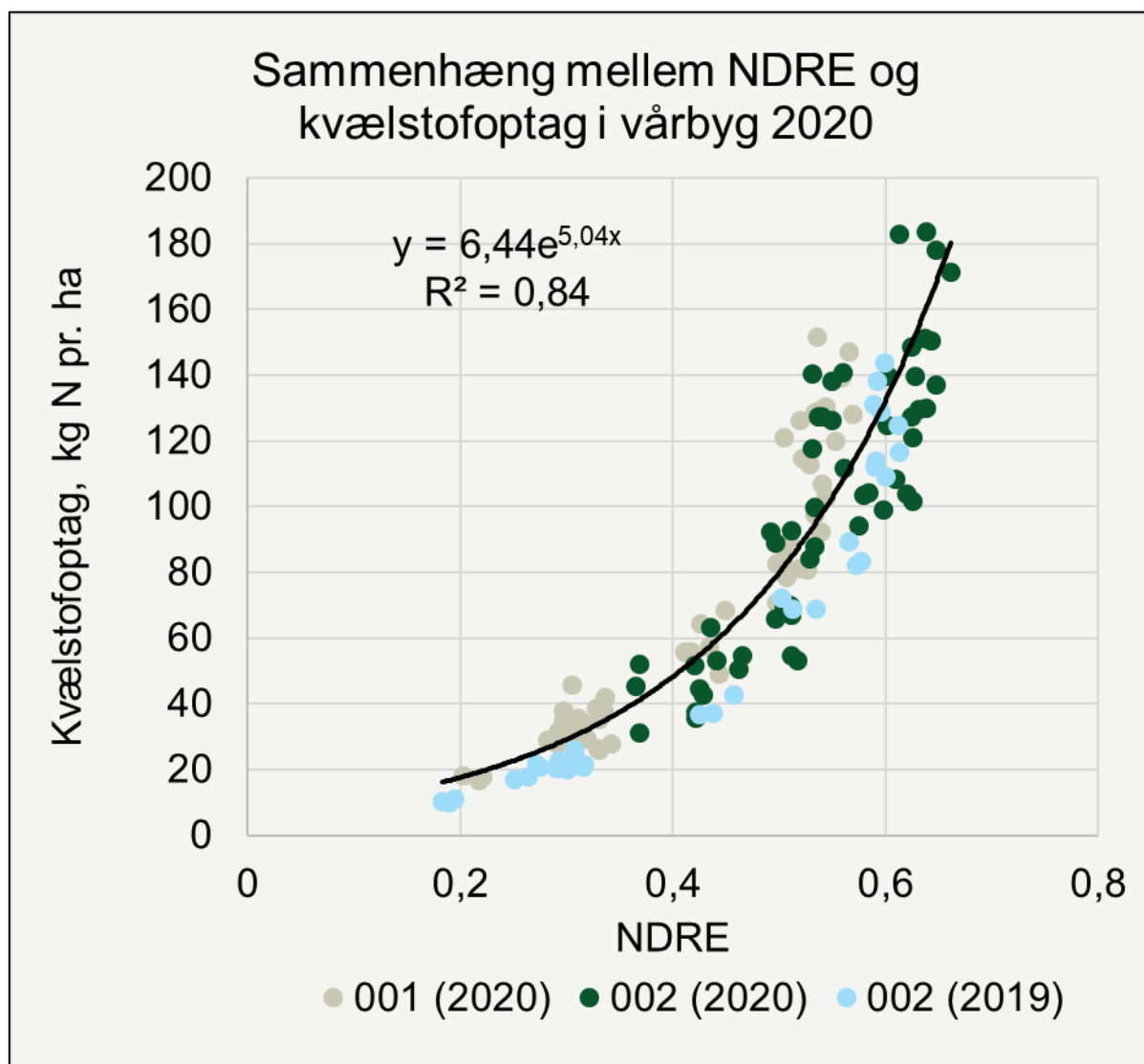
Kvælstofoptagelsen i vinterhvede kan beregnes ud fra følgende formel:

$$\text{Kvælstofoptagelse i kg N pr. ha} = 7,24 \times e^{(3,9 \times \text{NDRE})}$$

Vårbyg

Figur 3 viser kvælstofoptagelsen i vårbyg som funktion af NDRE i vækststadium 25-52 i 2019-2020. Der observeres god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og kvælstofoptagelsen i afgrøden ($R^2 = 0,84$), hvor NDRE forklarer 84 pct. af variationen i kvælstofoptagelsen i vårbyg.

Ud fra to års forsøg i vårbyg ser det ud til, at NDRE mættes omkring 0,53, hvilket betyder, at det herefter ikke er muligt med sikkerhed at måle forskel på, om en afgrøde har optaget 100 eller 150 kg N pr. ha.



Figur 3. Kvælstofoptagelse i vårbyg som funktion af NDRE i 2019-2020 i vækststadium 25-52.

Kvælstofoptagelsen i vårbyg kan beregnes ud fra følgende formel:

$$\text{Kvælstofoptagelse i kg N pr. ha} = 6,44 \times e^{(5,04 \times \text{NDRE})}$$

Konklusion

Tre års forsøg med dronemålinger og planteklip i vinterhvede og to års forsøg i vårbyg har vist følgende:

- En god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og kvælstofoptaget i vinterhvede i vækststadium 28-57 ($R^2 = 0,66$).
- At NDRE mættes omkring 0,6, hvorefter usikkerheden på bestemmelse af kvælstofoptagelsen i vinterhvede er betydelig.
- At NDRE er mere sensitiv overfor kvælstofoptagelse i vinterhvede end NDVI.

- At kvælstofoptagelsen i vækststadium 28-57 kan beregnes ud fra NDRE alene med en spredning på modellen på gennemsnitlig 16 kg N pr. ha. I praksis betyder det, at en droneoverflyvning i vinterhvede i stadium 28-57 kan vise, hvor meget kvælstof afgrøden har optaget, hvorved de efterfølgende kvælstoftildelinger kan justeres.
- En god sammenhæng mellem NDRE målt med drone og kvælstofoptaget i vårbyg i vækststadium 25-52 ($R^2 = 0,84$).