
SLUTRAPPORT

GUDP-projekt 1-1-2019 – 31-12-2022

N-Tool-Precise

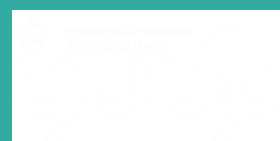
Bedre kvælstofudnyttelse og indtjening med satellitbestemt kvælstofoptagelse i kvælstofmodellen

N-Tool-Precise



19. JUNI 2020

Af chefkonsulent Leif Knudsen
SEGES



Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram, GUDP, som er en erhvervsstøtteordning under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.

GUDP giver tilskud til projekter, der understøtter grøn og bæredygtig omstilling af fødevarerhvervet, og programmet dækker hele værdikæden fra primærproduktion til forarbejdningsindustri og afsætningsled.

Det er GUDP's ministerudpegede bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen.

GUDP-sekretariatet i Landbrugsstyrelsen

Nyrupsgade 30, 1780 København V

Augustenborg Slot 3, 6440 Augustenborg | Tlf.+45 33 95 80 00

Mail: gudp@lbst.dk

Web: www.gudp.dk

Denne slutrapport er godkendt af GUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

SLUTRAPPORT

N-Tool-Precise

Bedre kvælstofudnyttelse og indtjening med satellitbestemt kvælstofoptagelse i kvælstofmodellen N-Tool-Precise

FAKTA OM PROJEKTET

- Projektperiode: 1-1-2019 – 31-12-2022
- Projektdeltagere: Aarhus Universitet og SEGES
- Bevilling fra GUDP: 8,4 millioner
- Projektleder: chefkonsulent Leif Knudsen, SEGES

FORMÅL

Formålet med projektet var at udvikle et avanceret værktøj (N-Tool-Precise), der som noget nyt inddrager satellitmålt kvælstofoptagelse i afgrøden til justering af kvælstoftilførslen løbende i vækstsæsonen.

Målet har været at udvikle et mere præcist gødskningsværktøj til landmanden, som kan bruges uden at landmanden skal ændre praksis. Tanken bag N-Tool-Precise for vinterhvede er, at landmanden skal dele gødningen, så der gives gødning tre gange i løbet af sæsonen, ligesom mange landmænd allerede gør i dag. Ved 1. og 2. kvælstoftildeling skal landmanden efterlade en rest på ca. 50 kg kvælstof pr. ha i forhold til det foreløbigt beregnede behov til 3. tildeling medio maj, hvor det endelige kvælstofbehov bestemmes ud fra satellitmålinger. På denne måde vil metoden fungere uden, at landmanden skal registre ekstra data.

Modellen skal bidrage til at optimere kvælstofudnyttelsen og indtjeningen i den enkelte mark og minimere udvaskningsrisikoen. Formålet var desuden at implementere den anerkendte udvaskningsmodel APSIM under danske forhold.

PROJEKTETS RELEVANS

I Danmark er der stor fokus på landbrugets kvælstofanvendelse, som siden 1993/94 har været reguleret af kvoter, der nu fastsættes som den optimale kvælstofmængde for hver afgrøde.

Afgrøders kvælstofbehov varierer betydeligt inden for en mark, mellem marker og mellem år. En præcis fastsættelse af kvælstofbehovet er vigtig både økonomisk og miljømæssigt, da det dels kan

sikre et optimalt udbytte ud fra de givne dyrkningsmæssige forudsætninger dels forhindre en overgødskning med en unødvendig stor kvælstofudvaskning til følge. I dag er fastsættelse af kvælstofbehov baseret på generelle normer eller en mere detaljeret beregning i f.eks. det elektroniske gødningsplanprogram MarkOnline.

Afgrødens kvælstofoptagelse kan i dag med satellitter eller med plantesensorer bestemmes for hver 10 x 10 meter i marken ud fra afgrødens refleksion af lys. Hidtil er denne viden kun udnyttet til at omfordele en given mængde kvælstof inden for marken. Det skyldes, at variationen mellem marker kan være betinget af forskelle i sådato, sorter, gødskningstidspunkt mv., der ikke er koblet til kvælstofbehovet. Men den centrale digitale lagring af alle dyrkningsoplysninger i gødningsplanprogrammerne giver en unik mulighed for at udvikle en model (N-Tool-Precise), der netop kan tage højde for dette. Dermed kan beregning af kvælstofbehov på mark og positionsniveau forbedres væsentligt, samtidigt med at den bedre udnyttelse minimerer risikoen for kvælstofudvaskning.

Kvælstofudvaskningen fra rodzonen har hidtil været beregnet med en relativ simpel statistisk model (N-les) eller med en dynamisk jord-plante-kvælstofmodel (DAISY). Ulempen ved DAISY modellen er, at den kræver mange input, som oftest ikke er til rådighed. Derfor er der brug for en enklere dynamisk model. Derfor har den internationalt anerkendte udvaskningsmodel APSIM, som sættes op til at kunne beregne udvaskning under danske forhold, været afprøvet i projektet.

HOVEDRESULTATER

Forsøgsgrundlag

I projektet er der gennemført et stort antal markforsøg med stigende mængder kvælstof med henblik på at kunne estimere en korrelation mellem biomasseindekset NDRE og kvælstofbehovet i hvert forsøg. I alt er der gennemført:

- 61 forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede
- 19 forsøg med stigende mængder kvælstof til vårbyg
- 5 storskalaforsøg (med i alt ca. 300 parceller i hvert forsøg) i maltbyg

Forsøg med stigende mængder kvælstof er anlagt med kvælstofniveauer fra 0-300 kg pr. ha i vinterhvede i intervaller på 50 kg, mens kvælstofniveauer i vårbyg er fra 0-200 kg i intervaller på 40 kg kvælstof pr. ha. Kvælstof i vinterhvede er tildelt ad 2 eller 3 gange efter kvælstofniveauet, mens alt kvælstof i vårbyg er tilført før såning. Udover kvælstofbehovet er betydningen af tildelingstidspunkt undersøgt i flere forsøg. Alle forsøg er overfløjet med drone monteret med kamera til måling af biomasseindekset NDVI og NDRE 3-6 gange i vækstsæsonen.

Storskalaforsøgene er anlagt efter en plan, hvor der er tilført 60, 100 og 140 kg N ved placering af gødning før såning. Hvert kvælstofniveau blev i st. 30 tilført 0, 30 og 60 kg kvælstof pr. ha i flydende gødning. Forsøgene blev anlagt med ca. 30 gentagelser og havde en længde på ca. 400 meter. Formålet med forsøgene var at undersøge, om variationen i udbytte og kvælstofrespons kunne forklares ud fra variationer i NDRE henover forsøgsarealet. Forsøgene blev overfløjet med drone 2 gange.

Resultater markforsøg med vinterhvede

I gennemsnit af 60 forsøg (1 forsøg er udgået) er der høstet et udbytte i det ugødede forsøgsled på 53,4 hkg pr. ha. Tilførsel af 200 kg kvælstof har resulteret i et merudbytte på 42,4 hkg pr. ha. Kvælstofbehovet ved de aktuelle prisrelationer er beregnet til 186 kg kvælstof pr. uden korrektion af afregningsprisen for protein. Spredningen på kvælstofbehovet mellem forsøgene er 52 kg kvælstof pr. ha.

TABEL 1. Udbytte og NDRE målinger i 60 forsøg i vinterhvede med droneoverflyvninger.

Kvælstof, medio marts, kg N/ha	Kvælstof, medio april, kg N/ha	Kvælstof, st. 37, kg N/ha	Kvælstof i alt, kg N/ha	Kvælstof tildelt min. 3 uger før måling i april	Kvælstof tildelt min. 3 uger før NDRE måling	NDRE medio maj	Kar. for lejesæd ved høst ¹⁾	Pct. råprotein i kerntørstof	Udbytte kg N i kerne pr. ha	Udb. og merudb. hkg kerne pr. ha
2021. Antal forsøg					60	57	60	60	60	60
0	0	0	0	0	0	0,42	0	8,3	66	53,4 d
50	0	0	50	50	50	0,52	0	8,3	91	19,6 c
50	50	0	100	50	100	0,57	0	9,1	117	32,8 b
50	100	0	150	50	150	0,60	1	10,1	140	39,4 a
50	100	50	200	50	150	0,61	1	11,2	159	42,4 a
50	150	50	250	50	200	0,62	2	12,0	172	43,2 a
50	200	50	300	50	250	0,62	2	12,5	177	42,3 a
100	200	0	300	100	300	0,63	2	12,3	177	43,3 a
LSD										2,8
						Spred-				
						Gns.	ning	Min.	Maks.	
N-min i rodzonen, kg N pr. ha						37	24	8	100	
Optimal N-mængde, uden proteinkorr., kg N pr. ha						186	52	11	257	
Merudb. ved optimum., hkg pr. ha						44,0	17,7	1,0	83,0	
NDVI, efterår						0,66	0,16	0,30	0,92	
NDRE st. 37						0,60	0,07	0,41	0,75	

Den målte NDRE-værdi medio maj stiger fra 0,42 i ugødet til 0,60 i forsøgsledet, hvor der er tildelt 150 kg kvælstof pr. ha mindst 3 uger før måletidspunktet.

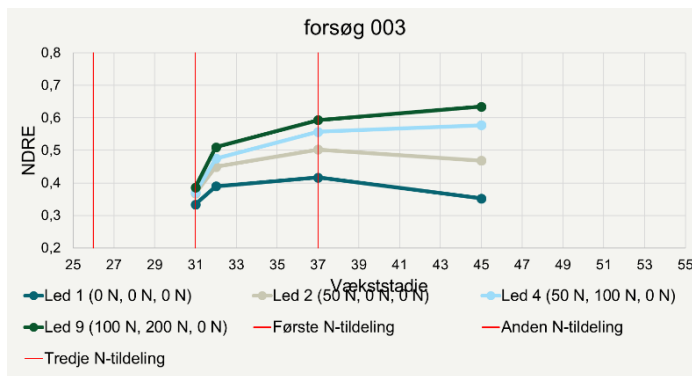
For at undersøge, om en tredeling kan have effekt på udbyttet i vinterhvede er effekten af de to delingsstrategier sammenlignet ved 200 kg N pr. ha i 31 forsøg. Resultaterne viser (ikke vist), at udbyttet er det samme ved de to strategier, mens proteinindholdet er 0,2 pct.enheder højere ved en 3-delning. Resultaterne viser, at det ikke koster udbytte ved at vente med at give sidste tildeling i st. 37.

Det betyder, at satellitbilleder i st. 37 kan anvendes til at fastslå det endelige kvælstofbehov uden økonomiske konsekvenser for landmanden.

Målinger af biomasseindekset NDRE i forsøgene

NDRE er målt i forsøgene ved droneoverflyvning. Dronen, som er anvendt i forsøgene, er monteret med et multispektralt kamera fra MicaSense (MicaSense RedEdge Multispectral Camera), som måler reflekterende lys i fem bånd. Teknologisk Institut har ved hjælp af programmet Solvi beregnet den gennemsnitlige værdi på parcelliveau, minimum og maksimum samt standardafvigelse. Teknologisk Institut har desuden foretaget en statistisk analyse af værdierne herunder om der er sikre statistiske forskelle mellem behandlingerne. I N-Tool-Precise er kun anvendt det beregnede NDRE fra de målte bånd.

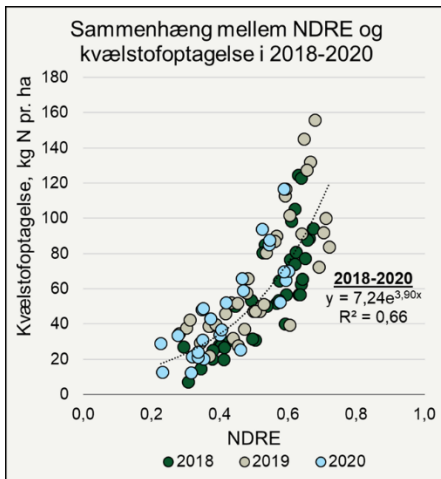
I figur 1 er vist et eksempel på dronemålinger i ét af forsøgene i 2019.



FIGUR 1. NDRE som funktion af vækststadije for forsøg 003 i 2019 for forsøgsled 1, 2, 4 og 9. I parentes er angivet kvælstoftildelingerne i de enkelte forsøgsled ved henholdsvis første, anden og tredje tildeling. De lodrette linjer illustrerer perioden for gødskning ved første, anden og tredje kvælstoftildeling i forsøget.

Forskelle i mængden af tildelt kvælstof afspejles i NDRE-målingerne. Når man med NDRE kan måle forskelle indenfor forsøget mellem forskellige kvælstofniveauer og tildelingstidspunkter, vil man også forvente, at der kan måles forskel mellem forsøgene. Mellem forsøg og marker vil de forskelle der måles være et udtryk for, hvor meget kvælstof jorden kan stille til rådighed for afgrøden. Dette er sammen med forskelle i udbytter hovedårsagen til, at der er variation i kvælstofbehovet mellem forsøgene.

I seks af forsøgene er optagelsen af kvælstof i st. 37 målt ved at udtage planteklip og analysere for kvælstof. Formålet var at etablere en sammenhæng mellem NDRE og optagelsen af kvælstof i vinterhvede. Data er suppleret med observationer fra 2018, der blev målt i et andet projekt.

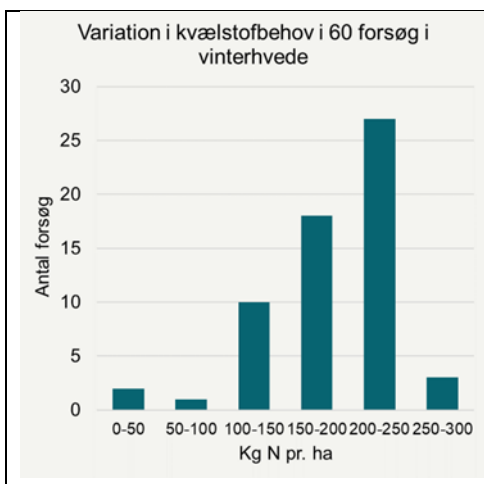


Figur 2. Kvælstofoptagelse i vinterhvede som funktion af NDRE fra vækststadium 28-57 i 2018-2020. Der er 42 observationer fra tre forsøg i 2018 (003, 004 og 005), 36 observationer fra tre forsøg i 2019 (001, 002 og 003) og 26 observationer fra tre forsøg i 2020 (001, 002 og 003).

Af figur 2 fremgår, at der er en tæt sammenhæng mellem NDRE og kvælstofoptagelsen. Ved at måle NDRE kan kvælstofoptagelsen beregnes. Sammenhængen er uafhængig af lokaliteten og vækststadiet fra 28 til 57.

Variation i kvælstofbehov mellem forsøgene

Ved udvalgte forsøgslokaliteter blev der lagt vægt på, at der skulle være forskelle i dyrkningshistorien således, at der blev variation i kvælstofbehovene i forsøgene. Denne variation blev jf. figur 3 opnået. En af årsagerne til variationen var også, at kvælstofbehovet generelt var lavt i 2019, højt i 2020 og igen lavt i 2021.



Figur 3. Variation i kvælstofbehov mellem de 60 forsøg

Korrektion af NDRE efter tidspunkt for dronebilleder

I praksis skal modellen bruges når hveden er i st. 37, men i forsøgene er dronebillederne ikke altid foretaget præcist på dette tidspunkt. For at udvikle en model, der skal kunne bruges i st. 37, har det derfor været nødvendigt at korrigere de værdier, som ikke blev målt i st. så den målte NDRE-værdi fremskrives til svarende til st. 37.

Dronebillederne til bestemmelse af NDRE blev ikke taget nøjagtig i st. 37 i alle forsøg. Der kan være en variation på +/-14 dage. NDRE udvikler sig i denne periode, og derfor er der brug for en korrektion af de målte NDRE-værdier. Denne korrektion er beregnet fra de forsøg, hvor der blev målt 4-7 gange med drone i vækstsæsonen. Analyser viser, at NDRE er koblet til antallet af

graddage. Det samme gælder vækststadier. Derfor er det valgt at korrigere målt NDRE i forhold til gennemsnittet af graddage i forsøgene, hvor måletidspunktet skulle være i stadie 37. Målingerne i st. 37 er i forsøgene sket ved i gennemsnit 508 graddage.

I 2020 viser tre forsøg forskellige niveauer af NDRE, men hældningen på kurven i intervallet 400-600 graddage er forholdsvis ens. Ud fra data fra forsøg er der beregnet et 2. grads polynomium for bestemmelse af afvigelsen i NDRE fra 510 graddage.

For hvert forsøg er beregnet antal graddage på måletidspunktet for drone, som skulle foretages i stadie 37. Graddage er her defineret som summen af temperaturer over 0 grader pr. dag efter d. 1. marts.

Før korrelation med den optimale kvælstofmængde korrigeres NDRE værdier målt ved 150 kg kvælstof pr. ha ud fra graddage på måletidspunktet, så alle forsøg har en NDRE-værdi ved 510 graddage.

Udvikling af formel til beregning af kvælstofbehov

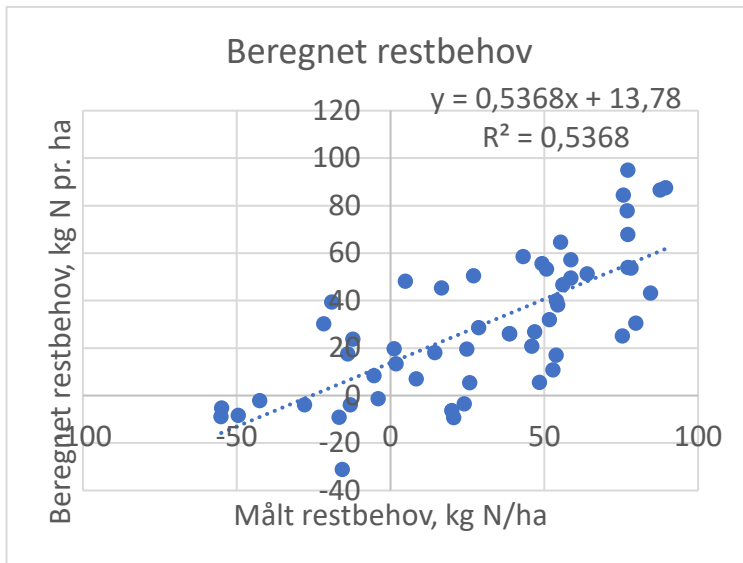
Første trin i udvikling af formel til beregning af kvælstofbehov er at fastlægge en referenceværdi for $NDRE_{ref}$. Formålet med dette er, at den optimale kvælstofmængde kan beregnes ud fra afvigelsen mellem $NDRE_{ref}$ og den målte NDRE-værdi. Ud fra en betragtning om, at det er vigtigst at kunne ramme restbehovet i st. 37, når der er tilført en normal kvælstofmængde i første og anden tildeling af kvælstof, er $NDRE_{REF}$ beregnet ud fra korrelationen mellem NDRE (korrigeret for måletidspunktet) målt i forsøgsleddet med tilførsel af 150 kg kvælstof pr. ha i alt ved 1. og 2. tildeling og det forventede udbytte som forklarende parametre og det målte restkvælstofbehov som resultatparameter. Det er forsøgt at inddrage andre parametre som forfrugt, eftervirkning af husdyrgødning mv. i sammenhængen, men effekter heraf var ikke signifikante. Det kan skyldes, at netop disse effekter udtrykkes i NDRE værdien for forsøget.

Efterfølgende er $NDRE_{ref}$ anvendt til at opstille en beregningsmetode til fastlæggelse af restbehovet ud fra forventet udbytte og målt NDRE i stadie 37. Dette er gjort ud fra en regression mellem afvigelsen mellem $NDRE_{ref}$ og målt NDRE i st. 37 korrigeret til 510 graddage i hvert forsøg, kvadratet på denne afvigelse, udbyttet ved optimum som forklarende variabel og restbehovet af kvælstof ved tilførsel af 150 kg kvælstof pr. ha. Sammenhængen er stærk signifikant

Restbehovet for kvælstof kan således beregnes ud fra:

- Satellitmålt NDRE omkring st. 37 (omkring 510 graddage) omregnet til NDRE målt med drone
- Antal graddage på måletidspunktet
- Forventet udbytte

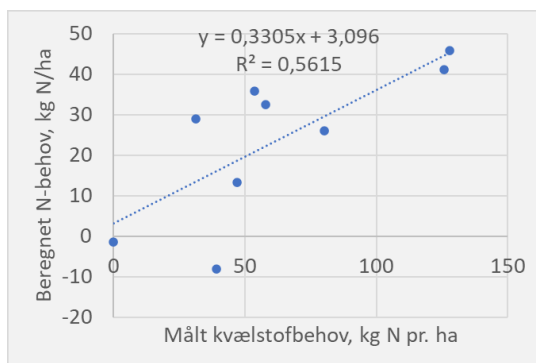
Ud fra denne sammenhæng er det beregnede restbehov i figur 9.1 plottet mod det målte restbehov.



Figur 4. Sammenhæng mellem målt og beregnet restbehov fra 0-250 kg N tilført før NDRE måling

Det fremgår af figuren, at hældningen på sammenhængen mellem målt og beregnet behov ikke er 1,0, men kun 0,54. Det betyder, at modellen ikke kan forklare hele afvigelsen og er mere "konservativ" end virkeligheden.

Modellen er valideret på 9 forsøg med tilførsel af handelsgødning i 2021. Resultatet af valideringen fremgår af figur 5.



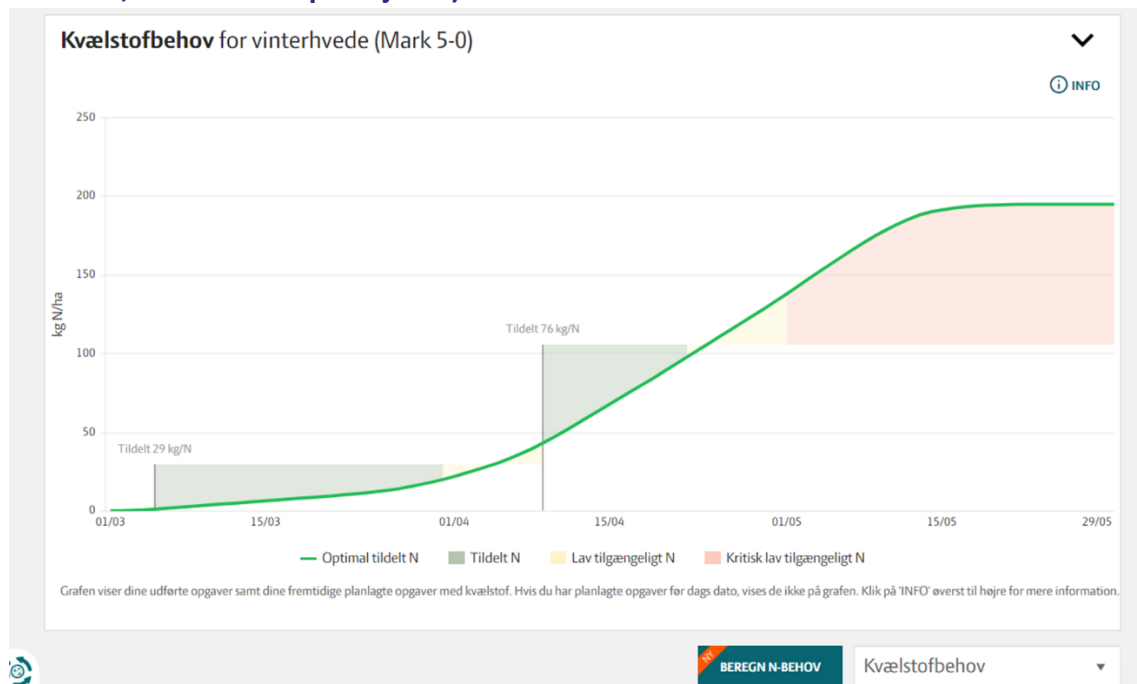
Figur 5. Sammenhæng mellem målt kvælstofbehov og modelberegnet kvælstofbehov i 9 forsøg 2021

Modellen har ikke kunnet forklare hele variationen i kvælstofbehovet, men er i stand til at udpege de 2 forsøg, hvor restbehovet har været lavest.

Implementering af model til beregning af restbehov i vinterhvede i Cropmanager

I projektet er modellen til beregning af restbehov i vinterhvede implementeret i CropManager sammen med en facilitet, der skal give landmanden en status over kvælstoftilførsel til hans vinterhvedemark. Programmet viser en såkaldt "minimumstilførselskurve", som udtrykker den mindste kvælstoftilførsel gennem vækstsæsonen, der skal være tilført for at høste fuldt udbytte. Landmanden vil ved vækstsæsonens begyndelse tilføre en kvælstofmængde. På et tidspunkt vil denne mængde komme under kurven, hvilket viser landmanden, at det nu er tid til næste tilførsel. Hvis der ikke er tilført tilstrækkeligt kvælstof, vil landmanden få en advarsel i form af, at det skraverede område bli-

ver gult. Ved større overskridelse bliver det rødt. Landmanden kan også få et overblik over alle vinterhvedemarker, hvor der vises en kvælstofstatus for alle marker (grøn: velforsynet, gul: tilførsel skal til at ske, rød: tilførsel på høje tid).



Figur 6. Skærmdump af kvælstofstyringsbilledet for en vinterhvedemark i CropManager

I stadiet 37 kan landmanden få beregnet behovet for kvælstof ud fra satellitmålinger. I brugerfladen kan landmanden også taste aktuelle priser ind på afgrøde, kvælstof og protein og få en justeret behovsberegning herudfra. Samtidig kan brugeren også i brugerfladen ændre det forventede udbytte. I sidste ende kan landmanden selv sætte kvælstofbehovet, hvor landmanden kan bruge det oprindeligt beregnede kvælstofbehov, det satellitberegne behov samt sine egne erfaringer med marken til at afgøre behovet.

Satellitberegnet N-behov før 3. tildeling (Test) BETA

Vinterhvede INFO

Marker	Forventet udbytte	Nyeste beregnede N-be	Gældende N-behov
5-0	90	80	193
9-0	90	80	184

Kvælstofpris 22,00 Kr.pr.kg N
 Afgrødepris 200,00 Kr.pr.hkg
 Proteinpris pr. pct. pro

Vil du overskrive 'Gældende N-behov' med det 'Nyeste beregnede N-behov' på alle marker?

Figur 7. Skærmdump af billede til satellitberegnet kvælstofbehov.
Udvikling af andre funktioner i projektet

I projektet er desuden implementeret en vækststadiemodell i CropManager for vårbyg og vinterhvede. Landmanden kan hele tiden følge afgrødens vækststadium, der erfaringsvis er svært for landmændene at fastlægge. Faciliteten gør, at landmanden bedre kan gødske og plantebeskytte rettidigt. Modellen er udviklet i 2020 og 2021 og har vist sig at passe godt med vækststadier observeret i marken.

Projektet har også bidraget til at få udarbejdet en prognose for indholdet af kvælstof i maltbyg. Prognosen er udarbejdet i samarbejde med Sveriges Landbrugs Universitet. Prognosen er udsendt til alle landmænd via Landmand.dk, som et stort antal landmænd bruger. Landmanden kunne her inden høst se prognosen for proteinindhold i hans vårbygmarker. Visningen er forsynet med en facilitet til, at landmanden kan indtaste det faktisk målte proteinindhold i marken. Det er forventningen, at det kan anvendes til at gøre proteinprognosen mere præcis i de kommende år.

En model for omfordeling af kvælstof til maltbyg er udviklet i projektet på basis af 5 storskala-forsøg i maltbyg. Modellen forventes at blive implementeret i foråret 2023 i CropManager. Proteinprocenten i maltbyg har vist sig alene at være afhængig af mængden af tilført kvælstof og uafhængig af omfordeling. Omfordeling af kvælstof, der foretages i st. 30 ud fra måling af NDRE fra satellit, kan gøre proteinprocenten mere ensartet i marken. Omfordelingen kan også resultere i et mindre udbyttetab, hvis den samlede kvælstofmængde reduceres for at opnå en lavere proteinprocent for at opfylde proteinkravet.

Kalibrering af udvaskningsmodellen APSIM til danske forhold

I projektet er den internationale kvælstofmodell APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) introduceret i Danmark. På baggrund af data vedrørende jord, dyrkning og klima kan APSIM simulere plantevækst og kvælstofdynamik. For at styrke datagrundlaget for simulering med APSIM blev der inddraget forsøg med stigende kvælstoftilførsel på Foulum og Flakkebjerg.

Modellen er kalibreret på en række af de forsøg, der i projektet er gennemført på Foulum og Flakkebjerg.

APSIM viste sig i stand til at simulere vinterhvedens udviklingstrin på tilfredsstillende vis. Simuleringen af kerneudbytter og kvælstofindhold i kerne var ligeledes tilfredsstillende. Simulering af biomasseproduktion og kvælstofoptagelse gennem vinterhvedens tidlige vækststadier i foråret viste rimelig overensstemmelse med de målte værdier. Overordnet set blev simuleringerne i APSIM forbedret i forhold til standardudgaven af vinterhvede i APSIM.

De grundlæggende sammenhænge i N-Tool-Precise modellen er sammenlignet med simuleringer med APSIM. Modellerne reagerer ens med hensyn til, at stigende biomasse i st. 37 alt andet lige resulterer i et lavere kvælstofbehov.

Der er i fremtiden behov for at undersøge, om simple modeller til forudsigelse af kvælstofbehov som N-Tool-Precise med fordel kan suppleres med simuleringer med mere dynamiske kvælstofmodeller som APSIM. Denne indgangsvinkel blev ikke testet i projektet af tidsmæssige årsager.

Idéen i at udvikle behovsfastsættelsesmodellen (N-Tool-Precise) ud fra 60 forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede har vist sig at være holdbar. Forsøgsarbejdet er stort set gennemført efter planerne, gødningen er udbragt rettidigt og dronemålingerne er foretaget i overensstemmelse med forsøgsplanerne. Der er gennemført 19 forsøg i vårbyg med det formål også at udvide modellen til vårbyg, men det har vist sig at være for få besøg. Anlæg af storparcelforsøg i vårbyg med ca. 30 gentagelser og 250-300 parceller har været en stor forsøgsopgave, men den udførende forsøgsenhed VKST har klaret opgaven uden de store problemer. Storparcelforsøgene har givet de ønskede data, der har gjort det muligt at udvikle en maltbygmodel.

Udfordringen i forsøgsarbejdet har været, at det fra starten har været underbudgetteret. Det har været betydeligt dyrere at foretage dronemålinger end forventet. Desuden har der været en ikke budgetteret omkostning til vejstationer i hvert forsøg. Udfordringen er løst ved, at der i andre projekter har været gennemført lignende forsøg, der er tilpasset til at kunne bruges i modeludviklingen. Udvikling af en proteinprognose var tænkt i projektet at skulle baseres på indsamling af data fra 100 maltbygmarker hvert år, hvor gødskningspraksis, udbytter og proteinprocenter fremgik. Det blev forsøgt første år, men det viste sig ikke muligt. Det skyldes ferieperioder hos rådgiverne og logistiske problemer med at få en kerneprøve, der kunne henføres præcist til den enkelte mark. Derfor blev metoden ændret til, at oplysningerne blev indhentet fra landsforsøg 2017-2021 med vårbyg, hvor der var målt udbytte og protein. Der blev indhentet satellitdata fra de marker, hvor forsøgene var placeret. Den statistiske analyse blev foretaget af Sveriges Landbrugs Universitet og Agrovakst. Udarbejdelsen af prognosen skete i samarbejde med andre projekter ved SEGES.

I projektet er det ikke helt lykkedes af integrere data og modeller fra Aarhus Universitet i SEGES data og bruge fælles data til modeludvikling. En af barriererne har været, at der er anvendt forskelligt dronekamera og selv små forskelle i målte bølgelængder, kan give forskellige NDRE-værdier. Det er derfor vigtigt fra begyndelsen, at det sikres, at der bruges ens eller konvertibelt udstyr. Det er heller ikke lykkedes at få integreret APSIM-simuleringerne i modeludviklingen. Det skyldes, at det er et nyt område, som hverken SEGES eller Aarhus Universitet har erfaring med. Det bør være et fremtidigt udviklingsområde.

KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

Projektet har givet de forventede resultater. Der er udviklet og dokumenteret en behovsfastsættelsesmodel i vinterhvede (N-Tool-Precise), der ud fra satellitmålt NDRE og forventet udbytte kan forudsige restbehovet for kvælstof i maj. Præcisionen af modellen er betydeligt bedre end ved gødskning ud fra normer. Modellen er implementeret i CropManager og tilgængelig for landmænd. I forbindelse med modellen er der implementeret et kvælstofstyringsmodul i CropManager, hvor landmanden løbende kan følge kvælstofforsyningen i markerne.

Der er udviklet og implementeret en vækststadiemodell, som kan hjælpe landmanden til at gødske og plantebeskytte rettidigt. I projektet er ligeledes udviklet en model for omfordeling af kvælstof til maltbyg, som forventes implementeret i foråret 2023.

Projektet har således resulteret i flere værktøjer, der er implementeret og tilgængelige for landmænd, der kan give en bedre styring af kvælstofanvendelse. Det vil bidrage til en bedre kvælstofudnyttelse og dermed et mindre kvælstoftab samtidig med en forbedring af indtjeningen for landmanden.

I projektet er den internationalt anerkendte kvælstofsimuleringsmodel APSIM introduceret i Danmark. Modellen er i projektet kalibreret til danske forhold, og har vist gode resultater til at simulere den faktiske plantevækst i forsøgene. Udover at simulere plantevæksten beregner APSIM også kvælstofudvaskningen.

I fremtiden bør N-Tool-Precise modellen udvikles til andre afgrøder og forbedres. Forbedring kan ske ved i højere grad at inddrage resultater af modelsimuleringer f.eks. med APSIM-modellen. En anden eller supplerende mulighed er at anvende Machine Learning i udviklingen.

FORMIDLING

Knudsen,L. (2021): Model til omfordeling af kvælstof til maltbyg. Landbrugsinfo. https://www.landbrugsinfo.dk/basis/4/3/b/godskning_omfordeling_kvaelstof_maltbyg

Knudsen,L., Langaard,M.K., Kristensen,N.H., Christensen,J.T., Nielsen,K.F. (2023): Model til forudsigelse af kvælstof i vinterhvede (Under publicering)

Langaard, M.L. og Knudsen, L. (2021): Bestemmelse af kvælstofoptagelse ud fra multispektrale billeder i vinterhvede og vårbyg. Notat udarbejdet af SEGES.

Nielsen,K.F. (2021): Kvælstofstyring i CropManager. Landbrugsinfo https://projekter.seges.dk/-/media/projectreport/projectdocuments/promilleafgiftsfonden-for-landbrug/promilleafgiftsfonden-for-landbrug---2021/4583/pm_21_4583_ap1_kvaelstofstyring_i_crop_manager.ashx

Poulsen,H.V.(2021): Vækststadiudviklingen i vinterhvede vise nu i CropManager. Landbrugsinfo. https://www.landbrugsinfo.dk/public/7/3/b/afgroder_vakststadiudvikling_vinterhvede_cropmanager

Vogeler, I., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., 2020b. Effect of winter cereal sowing time on yield and nitrate leaching based on experiments and modelling. 16th Congress of the European Society for Agronomy, 1th to 4th September 2020, Sevilla, Spain, Konference præsentation, session 1.3. (Resume på side 35 i Book of abstracts, som udelukkende har været tilgængeligt for deltagerne. Resumeet kan eftersendes ved henvendelse til en af forfatterne).

Læs mere om GUDP's projekter på www.gudp.dk

