

SLUTRAPPORT  
GUDP-projekt 2017-2020

# SAT-N



24. AUGUST~~30. MARTS~~ 2020

Af 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](mailto:gudp@lbst.dk)

**Web:** [www.gudp.dk](http://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

### SAT-N

#### Udnyt satellitmålt kvælstofoptagelse i efterafgrøder til forbedring af N-udnyttelsen

##### FAKTA OM PROJEKTET

---

Projektet er et GUDP-projekt gennemført i perioden fra 30-10-2017 og 31-12-2020. SEGES har haft projektledelsen med Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet som samarbejdspartner. En del af SEGES's egenfinansiering blev dækket af bevilling fra promilleafgiftsfonden.

##### FORMÅL

---

Formålet med SAT-N er at introducere ny teknologi med udnyttelse af satellitmålt efterårsoptagelse af kvælstof i efterafgrøder og vintersæd til at sikre en korrekt fastsættelse af eftervirkningen. SAT-N vil forbedre udnyttelsen og minimere udvaskningen af kvælstof i dansk landbrug til gavn for både landmandens økonomi og det omkringliggende vandmiljø.

##### PROJEKTETS RELEVANS

---

Forøgelse af kvælstofoptagelse om efteråret i efterafgrøder og vintersæd er en betingelse for at nå udvaskningsreduktionen forudsat i Fødevarer- og Landbrugspakken. For at opnå udvaskningsreduktionen er det afgørende, at eftervirkningen af det ekstra optagne kvælstof indregnes korrekt i de efterfølgende afgrøders kvælstofbehov. I SAT-N udvikles, demonstreres og implementeres to nye specifikke værktøjer, hvor satellitmålt kvælstofoptagelse om efteråret indgår i fastsættelse af kvælstofbehov. Begge værktøjer indbygges i Mark Online, der er et mark- og gødningsplanlægningsværktøj, som anvendes på 80 pct. af landbrugsarealet. Det ene værktøj implementeres så eftervirkningen af efterafgrøder indregnes automatisk, hvilket sikrer en mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet til efterfølgende vårsæd. På den måde vil landmanden opleve at spare indkøb af kvælstof uden at tabe udbytte. Samtidigt vil kvælstofudvaskningen reduceres. Det andet værktøj, som på samme måde implementeres i Mark Online er et modul for vintersæd. Efterårsoptagelsen af kvælstof beregnes ud fra satellitmålinger i efteråret, og kvælstofbehovet justeres i forhold til optagelsen i efteråret, hvilket på samme måde sikrer en mere præcis tildeling af gødning til vintersæd, til gavn for både miljø og landmandens økonomi.

Udover de to værktøjer, som implementeres i Mark Online sigtede projektet mod at indbygge et tredje værktøj i Kvadratnet-databasen, som vil blive anvendt til at inkludere forskelle i optagelsen af kvælstof om efteråret mellem årene ved udarbejdelse af den årlige kvælstofprognose.

---

Projektet udnytter mulighederne i gratis satellitdata, hvorved kvælstofoptagelsen kan beregnes for alle marker i Danmark. Ved at indbygge den satellitmålte kvælstofoptagelse i Mark Online og i kvælstofprognosen, sikres det, at de nye muligheder udnyttes til en mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet for hele landet inden for en kort tidshorison.

## HOVEDRESULTATER

---

For at belyse sammenhængen mellem NDVI-målinger og kvælstofoptagelse i efteråret blev der i løbet af projektperioden udført en række undersøgelser. De første undersøgelser belyste, om planteklip kunne udføres i marken på samme måde som det gøres i forsøg. Det blev besluttet, at der foretages 16 planteklip i hver mark, hvor der i forsøgene tages 8 planteklip. Planteklippene vejes samlet i marken, og sendes til analyse. Der er lavet flere undersøgelser som belyser sammenhængen mellem N-optagelsen i afgrøder med NDVI-målinger med forskelligt udstyr. Sammenhængen i efterafgrøder er dog ikke særlig godt belyst, og blev derfor undersøgt i projektet.

Det blev fundet, at man med rimelig sikkerhed kan estimere N-optagelsen i efterafgrøder ud fra NDVI-værdier fra satellit. Resultaterne gav ikke anledning til at indføre en artsspecifik sammenhæng mellem NDVI og kvælstofoptagelsen. Som også beskrevet i litteraturen er mætningen af NDVI problematisk ved veludviklede afgrøder, og ved NDVI-værdier over 0,75 kan man ikke differentiere N-optagelsen. Derfor er der indarbejdet en model i Mark Online, som tager udgangspunkt i en eksponentiel funktion for sammenhængen mellem NDVI og kvælstofoptagelsen, men der sker en korrektion ud fra tidspunktet, hvor der nås en mætning før 1. november for at være i stand til at estimere større optag i efterafgrøden end 40 kg kvælstof pr. ha

Inden gødningssæsonen 2018/2019 blev modellen indarbejdet i Mark Online, så kvælstofoptagelsen automatisk beregnes ud fra aktuelle satellitdata for alle efterafgrødemarker inddateret i Mark Online. Kvælstoftildelingen til efterfølgende vårbyg beregnes også automatisk, så den justeres i forhold til den mængde kvælstof, der er optaget i efterafgrøden. Modellen, som korrigerer behovet i vårbyg for eftervirkning af efterafgrøder er i projektet justeret ift. et modelleringsarbejde, der er gennemført ved Aarhus Universitet. Resultatet af arbejdet viser, at man på baggrund af N-koncentrationen i efterafgrøderne kan estimere mineraliseringshastigheden. Ved høje N-koncentrationer vil mineraliseringen gå hurtigere, og en større del vil mineraliseres det første år. Dette er indbygget i normerne i MarkOnline, så der kan gennemføres en artsspecifik eftervirkning.

På samme måde som for efterafgrøder blev der udviklet en model, som justerer forårstildelingen til vintersæd på baggrund af målte NDVI-værdier i det foregående efterår. I 12 forsøg fandtes ingen sikker sammenhæng mellem forskelle i kvælstofbehov mellem tidlig og normal såning. Effekterne strækker sig fra, at der i enkelte forsøg er effekter helt oppe på omkring 30 kg pr. ha til, at man i andre forsøg ingen effekt ser af N-optagelsen i efteråret. Der er sat en foreløbig justering på 10 kg N pr. ha i vintersæd, som er indarbejdet i Mark Online. Justeringen i Mark Online sker kun i marker med en forventet meget høj kvælstofoptagelse i efteråret bestemt ved NDVI-målinger fra satellit.

---

Det blev undersøgt om man på landsplan kan korrigere kvælstofbehovet efter efterafgrøder, i vintersæd og i vinterraps på baggrund af satellitmålinger i efteråret og/eller N-min målinger i foråret. Dette er relevant, hvis der er en systematisk variation i kvælstofoptagelsen i efteråret årene imellem eller systematiske forskelle i N-min-indholdet om foråret forårsaget af klimatiske forhold. N-min målinger i foråret på arealer med vinterraps og efterafgrøder viser, at der på arealer bevokset med efterafgrøder og vinterraps kan være en forskel årene imellem i N-min-niveauet foråret efter, og at denne forskel er i samme niveau som for ubevoksede eller marker bevokset med vintersæd om efteråret. Ydermere viser undersøgelserne at forskelle i efterårsoptagelsen mellem årene kan måles ud fra satellitdata, og derfor er mulige at inddrage i kvælstofprognosen uden måle-udgifter. For efterafgrøder tyder det dog på, at gevinsten herved er ret beskeden. For vinterraps viser 2-års resultater en lidt større betydning. Målingerne i projektet har medført, at det i det såkaldte prognoseudvalg nedsat af Landbrugsstyrelsen har besluttet at inddrage arealer med efterafgrøder og vinterraps i Kvadratnettet for at undersøge om man med N-min-målinger om foråret kan fastsætte en kvælstofprognose for disse afgrøder. Som følge heraf er der i februar 2021 udtaget N-min prøver i vinterraps og efterafgrøder, og der arbejdes videre med dette i prognoseudvalget. Resultaterne af målinger af N-min om foråret i efterafgrøder og vinterraps i projektet 2018-2020 er sammen med resultaterne af målingerne i Kvadratnettet 2021 anvendt til, at SEGES har udsendt en vejledning om behovet for kvælstof i vårsæd efter efterafgrøder og i vinterraps i foråret 2020 og igen i foråret 2021.

## PROJEKTFORLØB OG ERFARINGER

---

Første del af projektet bestod i at undersøge det faglige grundlag for eftervirkningen af efterafgrøder. Processen indeholdt faglige diskussioner mellem SEGES og Aarhus Universitet. Aarhus Universitet lavede et omfattende arbejde omkring mineralisering af efterafgrøder bl.a. med modellering med APSIM (Agricultural Production Simulator), som dannede baggrund for diskussionerne. Gennem hele projektet her SEGES gennemført markforsøg, som underbygger modelleringerne udført af Aarhus Universitet. Resultaterne fra modelleringerne udført af Aarhus Universitet og fra markforsøgene er brugt til at udvide den eksisterende eftervirkningsmodel i Mark Online. F.eks. blev der angivet mere specifikke værdier for de enkelte efterafgrødearter med hensyn til normal for kvælstofoptag og mineralisering.

Anden del af projektet bestod i at opstille en sammenhæng mellem satellitdata og kvælstofoptagelse i efteråret. Aarhus Universitet har VIRKN-projektet indsamlet dronebilleder og målt N-optagelse i 307 marker hos forskellige landmænd i efteråret. SEGES har brugt data til at opstille sammenhængen er implementeret i Mark Online både for vintersæd og efterafgrøder efterfulgt af vårsæd. Markforsøg og målinger udført i løbet af projektperioden er ligeledes brugt til at understøtte denne sammenhæng. I foråret 2019 blev modellen, som beskriver sammenhængen mellem satellitdata og N-optagelse indarbejdet i Mark Online. Processen med implementering i Mark Oline indebærer programmering ved SEGES IT-afdeling. Det forudsætter et godt samarbejde mellem SEGES-Planteinnovation og SEGES-IT, når de faglige modeller skal programmeres, og indebærer løbende evalueringer af resultatet.

---

I sidste halvdel af projektperioden blev der lavet et omfattende arbejde med at beskrive, hvordan efterårsoptagelsen i efterafgrøder og vinterraps kan indarbejdes i kvælstofprognosen. Det blev gjort ud fra resultaterne fra indsamling af N-min og planteklip i marker, som blev gennemført hvert år i projektperioden.

Det har været en styrke i projektet, at resultaterne er implementeret i Mark Online løbende, og ikke først efter projektafslutning. Det betyder, at børnesygdommene er håndteret løbende igennem projektperioden.

Samarbejdet med Aarhus Universitet har sikret, at også forskningsresultater og forskeres ekspertise er udnyttet. På den måde kommer den ekspertviden, som Aarhus Universitet besidder direkte i brug hos landmanden.

## KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

---

Eftervirkningen af kvælstof af efterafgrøder indregnes nu automatisk ud fra kvælstofoptagelsen i den enkelte mark helt uden besvær for landmanden. Det sikrer, at den efterfølgende afgrøde gødskes korrekt. Optagelsen af kvælstof i efterafgrøden bestemmes ud fra satellitmålinger i løbet af efteråret og optagelsen læses direkte ind i det elektroniske gødningsplanlægningsprogram MarkOnline, som ud fra optagelsen og jordtypen beregner, hvor meget kvælstof, der frigives til den efterfølgende afgrøde.

I projektet er det vist, at kvælstofoptagelsen i efterafgrøder om efteråret kan bestemmes rimeligt præcist ud fra satellitmålinger. Samtidig gør den automatiske overførsel af data til gødningsplanprogrammet, at eftervirkningen kan beregnes mere præcist ved at kombinere optagelsen med de oplysninger om jordtype og dyrkningshistorie på marken, der i forvejen er registreret. Resultatet er en mere præcis beregning af eftervirkningen på den enkelte mark. MarkOnline bruges til gødningsplanlægning på 85 pct. af landbrugsarealet – derfor slår den mere detaljerede eftervirkningsberegning meget igennem.

Arealet med efterafgrøder om efteråret er i dag 550.000 ha – godt 20 pct. af landbrugsarealet. Efterafgrøderne skal reducere kvælstofudvaskningen ved at optage kvælstof om efteråret. Når efterafgrøderne nedmuldes frigives kvælstof igen, og det kan udnyttes af den efterfølgende afgrøde. I alt repræsenterer eftervirkningen af kvælstof en værdi på 80 millioner kroner pr. år i sparet handelsgødningsindkøb. For mange landmænd resulterer det store krav om efterafgrøder et økonomisk tab, men det bliver endnu større, hvis ikke eftervirkningen af efterafgrøderne indregnes korrekt. Samtidig er en korrekt indregning også en forudsætning for at optimere miljøeffekten.

Derudover er der i projektet udarbejdet et modul for vintersæd, således at efterårsoptagelsen af kvælstof beregnes ud fra satellitmålinger i efteråret, og kvælstofbehovet justeres i forhold til optagelsen i efteråret. Dette sikrer også en mere præcis tildeling af gødning til vintersæd, til gavn for både miljø og landmandens økonomi.

## FORMIDLING

---

---

I løbet af projektet er resultaterne præsenteret til konsulenter og landmænd. Herunder på plantekongres i 2019, Mark- og Gødningsseminar 2019 samt på SEGES Plantewebinar i 2020.

Herudover er resultaterne formidlet i artikler på Landbrugsinfo, på SEGES' facebook side og endeligt i to artikler i fagmagasinet MARK i slutningen af 2020.

Alle notater og publikationer kan findes på projektsitet med følgende links:

[https://projektsitet.seges.dk/fond/promilleafgiftsfonden/aar/2020/projekt/SAT-N\\_4165](https://projektsitet.seges.dk/fond/promilleafgiftsfonden/aar/2020/projekt/SAT-N_4165)

[https://projektsitet.seges.dk/fond/promilleafgiftsfonden/aar/2019/projekt/SatN\\_4165](https://projektsitet.seges.dk/fond/promilleafgiftsfonden/aar/2019/projekt/SatN_4165)

<https://projektsitet.seges.dk/fond/groentudviklingsogdemonstrationsprogram/aar/2018/projekt/sat-n-4165>

Resultater fra alle markforsøg kan læses i Oversigt over Landsforsøg i 2018, 2019 og 2020 under efterafgrøder.

Der er lavet en afsluttende rapport, som samler resultater for den treårige projektperiode.

Udnyt satellitmålt kvælstofoptagelse i efterafgrøder til forbedring af N-udnyttelse (Sat-N)

[https://www.landbrugsinfo.dk/basis/7/2/0/godskning\\_satellitmalt\\_kvalstofoptagelse\\_i\\_efterafgrøder\\_n\\_udnyttelse](https://www.landbrugsinfo.dk/basis/7/2/0/godskning_satellitmalt_kvalstofoptagelse_i_efterafgrøder_n_udnyttelse)

Læs mere om GUDP's projekter på [www.gudp.dk](http://www.gudp.dk)

