



Miljø- og
Fødevareministeriet

guds

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Kvælstofprognose for vinterraps og efter efterafgrøder	Ansvarlig	lek
	Oprettet	26-08-2020
	Side	1 af 8
Projekt: 4165 SAT-N		

Kvælstofprognose for vinterraps, efterafgrøder og vintersæd med inddragelse af satellitmålt kvælstofoptag

1. Koncept for prognose for afgrøder med stort kvælstofoptag om efteråret

1.1 Baggrund for kvælstofprognose

Idéen i en kvælstofprognose på landsniveau er at korrigere kvælstofbehovet for systematiske variationer mellem årene forårsaget af primært klimatiske forhold. I løbet af vinterperioden betyder overskudsnedbør udvaskning af en del af det nitratkvælstof, der i efterårsperioden er opbygget i jorden. Indholdet nitrats og ammonium (N-min) om foråret afhænger af overskudsnedbørens størrelse, og med variationer i vintervedbør mellem årene, er der en systematisk forskel på N-min-indholdet i jorden ved forårets begyndelse. Da N-min er direkte tilgængeligt for afgrøden, betyder det også systematiske forskelle i kvælstofbehov mellem årene.

I 1980'erne udarbejdede SEGES (daværende Landbrugets Rådgivningscenter) årlige kvælstofprognoser på baggrund af nedbørsdata. Siden 1988 har grundlaget været målinger i Kvadratnettet for nitratsundersøgelser i Danmark (Østergaard og Mamsen, 1990. Landbrugets Rådgivningscenter, 1996). Fra 1994 har kvælstofprognosen været en del af lovgivningen om landbrugets gødning- og arealanvendelse.

Tankegangen bag kvælstofprognosen har været, at kvælstofprognosen kun gælder for marker, hvor efterårsbevoksningen forud kun er i stand til at optage en begrænset mængde kvælstof og derfor ikke påvirker udvaskningen af kvælstof i vinterperioden. Det vil i praksis sige arealer uden efterårsbevoksning (bar jord) eller bevokset med vintersæd, fordi kvælstofoptagelsen generelt er lav for vintersæd sået til normal tid. Derimod vil kvælstofprognosen i den oprindelige tankegang ikke gælde for marker med efterårsbevoksning med stort kvælstofoptag, herunder efterafgrøder, fordi N-min-indholdet om foråret på disse marker ikke er så påvirket af overskudsnedbør om vinteren. Det skyldes, at kvælstofoptagelsen om efteråret bringer N-min ned på et lavt niveau, hvorfor kvælstofudvaskningen vil være begrænset. Derfor antages N-min-indholdet om foråret ved en sådan efterårsbevoksning ikke at variere så meget mellem årene som på marker, der om efteråret er ubevoksede eller bevokset med en afgrøde med beskeden kvælstofoptag. Lovgivningsmæssigt gælder kvælstofprognosen i dag også for arealer, hvor der har været efterafgrøder forud.

Med udgangspunkt i et stigende areal med efterafgrøder har SEGES undersøgt, om kvælstofprognosen kan udvides til også at gælde for arealer med stor kvælstofoptagelse om efteråret dvs. efterafgrøder og vinterraps. Det er herunder undersøgt, om systematiske forskelle i optagelse af kvælstof om efteråret også kan indgå i kvælstofprognosen på linje med forskelle i N-min.

1.2 Koncept for prognose for afgrøder med kvælstofoptag om efteråret

For afgrøder med begrænset kvælstofoptagelse om efteråret udarbejdes prognosen alene som forskellen i N-min det pågældende år og N-min som gennemsnit af de foregående 11 år. For efterafgrøder vil den følgende afgrødes kvælstofbehov udover N-min også afhænge af, hvor meget kvælstof efterafgrøden har optaget om efteråret, og hvor meget heraf, der frigøres til den følgende afgrøde. Idet vækstforholdene er meget forskellige mellem årene, må det forventes, at der er systematiske forskelle i optagelsen i efterafgrøder mellem årene. Og dermed en systematisk forskellig eftervirkning.

Det samme er tilfældet for vinterraps. Forskellen er, at her er det afgrøden selv, der skal udnytte en del af den kvælstof, der allerede er optaget fra efteråret. Det kan ligeledes være relevant at kigge på

vintersæd, fordi såtidspunktet har stor betydning for kvælstofoptagelsen, og dermed vil tidlig såning kunne give en vis eftervirkning om foråret.

Konceptet for kvælstofprognose for afgrøder, der optager meget kvælstof om efteråret kan udtrykkes således:

Ubevoksede arealer om efteråret : Prognose = $-(N_{\text{minforårakt.år}} - N_{\text{minforårgns11år}})$

Bevoksede arealer om efteråret : Prognose = $((N_{\text{minforårakt.år}} - N_{\text{minforårgns11år}}) + (N_{\text{optagaktår}} - N_{\text{optaggnssår}}) \times N_{\text{udn}})$

Hvor:

$N_{\text{minforårakt.år}}$: Målt N-min i det aktuelle år

$N_{\text{minforårgns11år}}$: Gennemsnit af N-min målt i 11 år forud

$N_{\text{optagaktår}}$: N-optag i afgrøden i det aktuelle år

$N_{\text{optaggnssår}}$: N-optag i afgrøden som gennemsnit af optag i referenceperioden (11 år)

N_{udn} : Kvælstofudnyttelsen af det ekstra N-optag

En positiv prognose betyder et større kvælstofbehov end normalt.

2. Metode for undersøgelse af prognose for arealer med stort efterårsoptag af kvælstof

Konceptet for udarbejdelse af prognose for arealer, hvor der har været en afgrøde med stort kvælstofoptag, er undersøgt for efterafgrøder, vinterraps og indirekte for vinterhvede. Der er lagt vægt på at undersøge, om forskelle i N-min om foråret mellem årene følger forskellene i N-min i kvælstofprognosen baseret på ubevoksede og marker med vinterkorn om efteråret. Desuden at undersøge, om forskelle i optagelse af kvælstof om efteråret i vinterraps og efterafgrøder samt delvist i vinterkorn er store nok til at begrunde en systematisk ændring i kvælstoftilførslen mellem årene. Betydningen af efterårsoptag i vinterraps og vinterhvede er undersøgt i landsforsøg med stigende mængder kvælstof.

Efterafgrøder og vinterraps

Der er gennemført et måleprogram, hvor efterårsoptagelsen af kvælstof i efterafgrøde og vinterraps er bestemt ved planteprøver. Om foråret er målt N-min til 1 meters dybde i begyndelsen af februar måned, hvor prøver udtages til den officielle kvælstofprognose. Bestemmelse af kvælstofoptagelsen i efterafgrøden er bestemt ved planteklip på 0,25 m² 16 steder inden for 0,5 ha i marken. De 16 planteklip er puljet, vejret og analyseret for tørstof og kvælstof. N-min er målt til 1 meters dybde ved udtagning af 16 stik med jordprøvebor, hvorefter delprøverne er puljet og indholdet af nitrat og ammonium er bestemt. Håndtering af N-min-prøver har fulgt samme procedure som for N-min-prøver til kvælstofprognosen.

Der er indhentet satellitbilleder med bestemmelse af NDVI i hele efterårsperioden for de marker, hvor satellitbilleder er tilgængelige i perioden.

Vinterraps og vinterhvede

For vinterraps og vinterhvede er der for forsøg med stigende mængder kvælstof fremskaffet NDVI-værdien om efteråret for den mark, hvor forsøget har ligget. Det er undersøgt, om NDVI-værdien kan bidrage til forklaringen af den optimale kvælstofmængde.

3. Resultater og diskussion

3.1 N-min-prøver

Resultaterne af N-minprøver for 2018, 2019 og 2020 for efterafgrøder er vist i tabel 3.1.

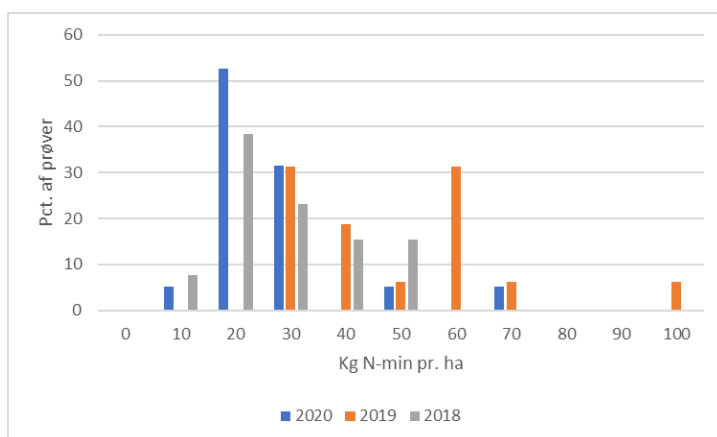
N-min-indholdet varierer mellem årene fra 21 kg i 2020 til 45 kg kvælstof pr. ha i foråret 2019. Forskellen er signifikant (***). I foråret 2018 var niveauet af N-min på samme niveau som i 2020, og der er ikke signifikant forskel på niveauet.

Tabel 3.1. Resultatet af N-min prøver på arealer med efterafgrøder efteråret forud

År	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Spredning, kg N/ha	JB 1+3		JB 2+4		JB 5-9	
				Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha
2018	13	28	10			5	30	8	27
2019	16	45	20	2	31	2	62	12	44
2020	19	23	13	4	18	9	19	6	29
Gns		30							

Forskellen i N-min mellem 2019 og 2018 på 217 kg kvælstof pr. ha er lidt større end forskellen i N-min-indhold i kvælstofprognosen, hvor den gennemsnitlige forskel var 16 kg kvælstof pr. ha. Forskellen i N-min i kvælstofprognosen 2020 og 2019 var tilsvarende XX kg pr. ha.

I figur 3.1 er vist fordelingen af prøver opdelt efter N-min-niveau for de 3 år. Det fremgår, at niveauet generelt er højere i 2019 end i de to andre år i undersøgelsen.



Figur 3.1. Forskelle i N-min-niveauer målt i marker med efterafgrøder i efteråret forud.

Resultaterne viser således, at der på arealer bevokset med efterafgrøder kan være en signifikant 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.

Tilsvarende opgørelse er gennemført for vinterraps. Resultaterne er gengivet i følgende tabel.

Tabel 3.2 Resultatet af N-min prøver på arealer med vinterraps efteråret forud

År	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Spredning, kg N/ha	JB 1+3		JB 2+4		JB 5-9	
				Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha	Antal	N-min-1 meter, kg N/ha
2018	12	26	17	2	9	7	31	3	12
2019	14	33	13	1	13	1	34	12	34
2020	20	23	13			10	18	10	21
Gns		27							

Gennemsnit over årene følger samme mønster som for efterafgrøder. Målinger i 2018 og 2020 ligger på et lavt niveau, mens målingerne i 2019 ligger på et noget højere niveau. Også for vinterraps følger N-min-tallene samme forskelle mellem årene som kvælstofprognosen.

3.2 Forskelle i kvælstofoptag mellem årene

I de marker, hvor der i foråret 2018, 2019 og 2020 blev målt N-min blev der i efteråret forud for 2019 og 2020 bestemt kvælstofoptagelse i efterafgrøde eller vinterraps i oktober måned.

Resultaterne for optagelse i efterafgrøder fremgår af følgende tabel.

Tabel 3.3 Optagelse af kvælstof i efterafgrøder i året forud for prognoseåret

Prognoseår	Antal	Optagelse i afgrøde, kg N/ha	Spredning, kg N/ha	Antal	Maks. NDVI efterår
2018	-	-	-	13	0,68
2019	17	40	23	17	0,82
2020	19	20	17	16	0,68
Gns		30			0,75

I gennemsnit blev der i efteråret 2018 målt en kvælstofoptagelse på 40 kg kvælstof pr. ha i efterafgrøden i 17 marker. Tilsvarende blev der kun målt en kvælstofoptagelse på 20 kg i efteråret 2019. Forskellen er statistisk sikker (***) . Forskellen i optagelse skyldes klimatiske omstændigheder. Forskelle mellem efterår 2018 og 2019 kan også registreres ved den maksimale NDVI-værdi målt i efterårsperioden. NDVI-værdierne tyder på at optagelsen af kvælstof i efterafgrøden i efteråret 2017 var på niveau med optagelsen i efteråret 2019, hvilket svarer til observationerne fra praksis.

Forskellen i optagelse af kvælstof mellem efteråret 2018 og 2019 forventes ud fra erfaringer at ligge tæt på den maksimale forskel, der vil forekomme.

Hvis det antages, at 30 pct. af kvælstofoptagelsen i efterafgrøden mineraliseres i perioden fra N-min-prøverne er taget til vækstsæsonen slutter, og at vårbyggen kan udnytte 50 pct. heraf, betyder en forskel i optagelse på 20 kg kvælstof i efterafgrøden pr. ha, en forskel i 3 kg i kvælstofbehovet i vårbyg.

For vinterraps fremgår optagelsen i efteråret 2018 og 2019 af tabel 3.4

Tabel 3.4. Optagelse af kvælstof i vinterraps i efteråret 2018 og i 2019.

Progno- seår	Antal	Opta- gelse i afgrøde, kg N/ha	Spred- ning, kg N/ha	Antal	NDVI
2018	-	-	-	13	0,74
2019	18	69	28	18	0,85
2020	20	51	24	14	0,68
Gns		60			

Mellem efterår 2018 og 2019 er der en forskel i kvælstofoptagelsen på 18 kg kvælstof pr. ha. Niveaulet for kvælstofoptagelse i vinterraps ligger noget over niveauet i efterafgrøder, hvilket kan skyldes, at vinterrapsen tilføres gødning om efteråret.

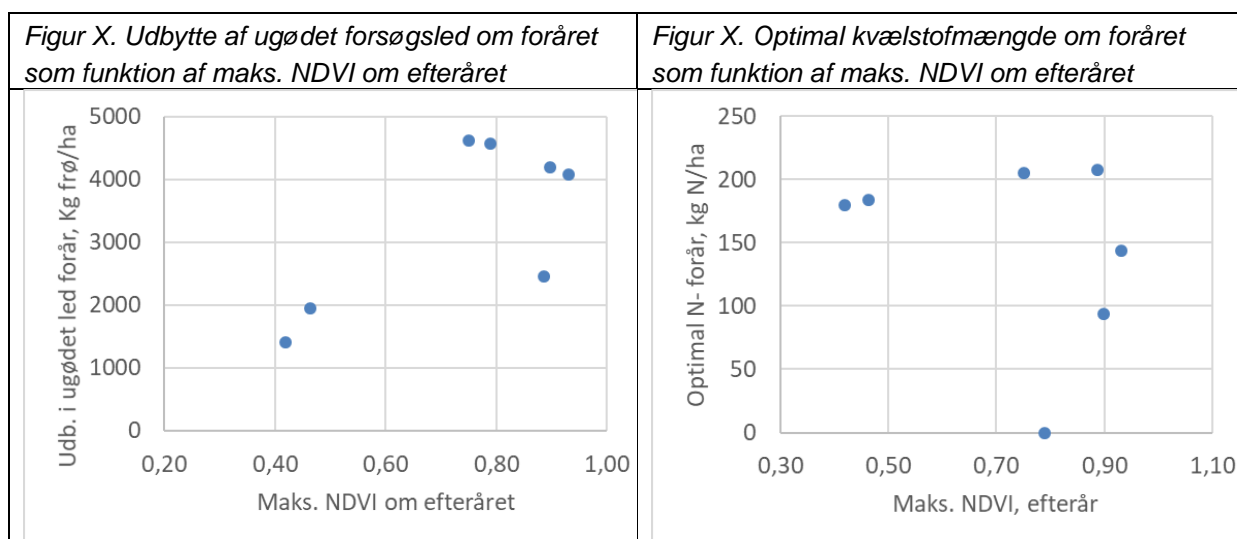
For vinterraps anbefales en korrektion for efterårsoptagelsen på halvdelen af forskelle i den optagne mængde (Østergaard, 2014). Efter denne vejledning, vil der være et behov for kvælstof, der er 9 kg kvælstof højere i 2020 end i 2019.

3.3 Test af sammenhængen mellem NDVI om efteråret og kvælstofbehov i vinterraps og vinterhvede

3.2.1 Vinterraps

For 7 forsøg i alt fra høst 2018 og 2019 er fundet maksimale NDVI værdier om efteråret i de marker, hvor forsøgene er placeret. NDVI-værdierne varierer mellem 0,42 og 0,93. Årsagen til variation i NDVI kan være såtidspunktet, mængde og tidspunkt for tilførsel af handels- og husdyrgødning, den geografiske placering mv. Såtidspunktet varierer kun fra d. 15. til den 23. august. De to senest såede forsøg har de laveste NDVI. 5 af de 7 forsøg er tildelt fra 27 til 60 kg kvælstof i handelsgødning, mens 2 forsøg er tildelt 100-122 kg kvælstof pr. ha. 1 forsøg er ugødet om efteråret. Tidspunktet for tilførsel af handels- og husdyrgødning varierer fra før såning til d. 28. september. Det er ikke muligt at opstille nogen entydig sammenhæng mellem tidspunkter eller mængde af tildelt gødning og NDVI værdien.

Forsøgene er tildelt fra 0 til 250 kg kvælstof pr. ha om foråret, og ud fra udbytterne er den optimale kvælstofmængde beregnet. I figur 1 er vist sammenhængen mellem målt NDVI om efteråret og udbyttet i det ugødede forsøgsled.



I figur X er vist sammenhængen mellem målt NDVI om efteråret og udbyttet i det ugødede forsøgsled. I de 2 forsøg med lavest NDVI er målt det laveste udbytte i det forsøgsled, der er ugødet om efteråret. Det tyder på, at en veludviklet rapsafgrøde om efteråret kan udnytte en del af det kvælstof, som den har optaget om efteråret, til vækst om foråret.

I figur X er vist sammenhængen mellem NDVI om efteråret og den optimale kvælstofmængde i forsøget om foråret. Den optimale kvælstofmængde er beregnet alene for forårstilførslen. Den manglende sammenhæng kan skyldes, at den optimale kvælstofmængde om foråret er påvirket af, hvor meget kvælstof, der er tilført om efteråret også selv om det er tilført så sent, så det ikke har påvirket NDVI værdien om efteråret.

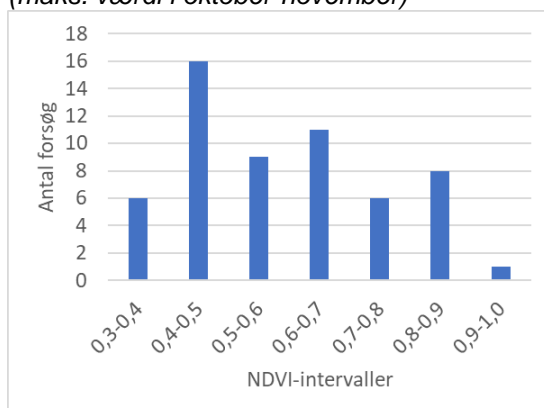
For at vise en sammenhæng mellem NDVI om efteråret og kvælstofbehovet følgende forår skal der et større datamateriale til.

3.2.2 Vinterhvede

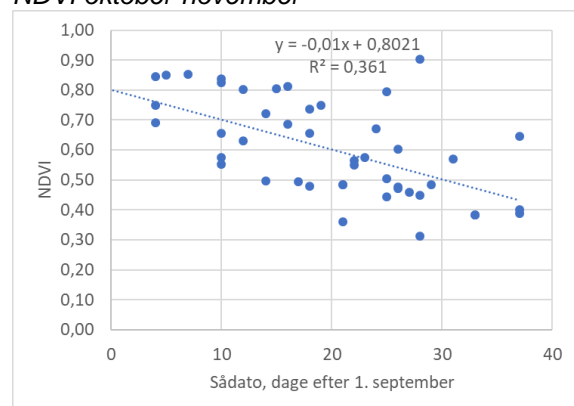
For 57 forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede 2017-2019 er den maksimale NDVI værdi i perioden oktober-november for den mark, hvor forsøget er placeret, trukket ud. Den gennemsnitlige NDVI blev bestemt til 0,59. Forsøgene er fordelt på NDVI værdier mellem 0,3 og 0,9 med en overvægt af forsøg med værdier på 0,4-0,5.

For forsøg med registrerede sådatoer er der en god sammenhæng mellem sådato opgjort som antal dage vinterhvede er sået i forhold til 1. september. Sammenhængen er stærk signifikant (99,9 pct. niveau). En del af variationen kan skyldes, at NDVI er bestemt for hele marken, og ikke kun for det område i marken, som forsøget dækker. For hver dag, vinterhveden sås senere, falder NDVI værdien 0,01 enhed. Såning 1. oktober udløser derfor en NDVI – værdi, der er 0,30 enheder lavere end ved såning 1. september. Ud fra forsøg med måling af kvælstofoptagelse i vinterhveden i overjordiske dele kan forventes en optagelse ved såning 1. september, der er 20-30 kg kvælstof pr. ha større end ved såning 1. oktober.

Figur xx. Fordeling af forsøg på NDVI-værdier (maks. værdi i oktober-november)



Figur xx. Sammenhæng mellem sådato og maks. NDVI oktober-november



Der er gennemført en række statistiske analyser for at undersøge, om NDVI om efteråret kan medvirke til at forklare den optimale kvælstofmængde det følgende forår. Ved indstilling af kvælstofnormer anvendes forbrug, jordtype, eftervirkning af husdyrgødning og efterafgrøder og udbyttet ved optimum til at forudsige den økonomisk optimale kvælstofmængde. Anvendes denne beregningsmetode på de 57 vinterhvedeforsøg på en stærk signifikant sammenhæng med det målte optimum, men forklaringsgraden (R^2) er kun 0,21. Det er herefter undersøgt, om inddragelsen af NDVI om efteråret kan forbedre forudsigelsen af optimum. Det viser sig ikke at være tilfældet. Der er heller ingen sammenhæng mellem NDVI om efteråret og vinterhvedeudbyttet.

I en større analyse foretaget af Ørum, 2019 på forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede 1992-2018 blev der fundet en effekt af såtidspunktet. Kvælstofbehovet steg jo senere vinterhveden blev sået. SPØRG JENS ERIK TIL DENNE SAMMENHÆNG

4. Inddragelse af satellitdata til modellering af N-min om foråret.

Kvælstofprognosen bygger i dag på ca. 150 N-min-målinger i Kvadratnettet i februar måned hvert forår. Landbrugsstyrelsen har overvejet om udtagning af N-min-prøver kan erstattes helt eller delvist af modelberegninger. I den forbindelse har "Udvalget vedrørende kvælstofnormer, -prognoser og kvælstof i husdyrgødning" i 2019 nedsat en prognosearbejdsgruppe til at belyse problemstillingen. Under dette udvalg har IFRO opstillet en model ud fra eksisterende Kvadratnetsdata til modellering af N-min.

I denne model er testet om, NDVI målinger om efteråret kan forbedre modellens forudsigelse af N-min.

Resultatet af denne undersøgelse her

5. Samlet vurdering af brug af satellitdata til at forbedre kvælstofprognosen

Følges det koncept vist i afsnit 2 for kvælstofprognose for arealer, hvor der har været en afgrøde med stor kvælstofoptagelse, kan forskelle i prognose beregnes mellem 2019 og 2020. Kvælstofoptagelsen i afgrøden blev ikke målt i efteråret 2017, men ud fra NDVI-værdier er regnet med samme optagelse som i 2019.

Tabel 4.1. Sammenligning af beregnet prognose hvor efterafgrøder eller vinterraps har udgjort efterårsbevoksningen med kvælstofprognosen for samme år.

	Efterafgrøder			Vinterraps			Prog-nose
	Forskel i Nmin	Forskel, effekt af N-optag*	I alt	Forskel i Nmin	Forskel, effekt af N-optag	I alt	Netto
2018	0	0	0	0	0	0	0
2019	-17	-3	-20	-7	-9	-16	-12
2020	5	0	5	3	0	3	0

*For N-optag er optagelsen i efterår 2017 sat lig optagelsen i 2019

Forskellen i N-min er lidt større end prognosen for efterafgrøder. Det er i større grad forskelle i N-min, der bidrager til den beregnede prognose for de efterårsbevoksede arealer, mere end det er forskellen i optagelsen. Der er statistisk signifikante forskelle i N-optag mellem årene, men det bidrager for efterafgrøder ikke meget til den samlede prognose. Det skyldes, at der kun forventes en beskedent eftervirkning af den optagne kvælstof. For vinterraps betyder forskelle i kvælstofoptag mere end for efterafgrøder. Generelt er optaget i vinterraps større og variationen mellem åren større. Det kan skyldes, at vinterraps gødes om efteråret. Desuden indregnes mere end dobbelt så meget eftervirkning per kg meroptag af kvælstof i forhold til efterafgrøder.

Resultater fra SAT-N viser, at forskelle i efterårsoptag mellem årene kan måles ud fra satellitdata, og derfor er mulige at inddrage i kvælstofprognosen uden måleudgifter. For efterafgrøder tyder det dog på, at gevinsten herved er ret beskedent. For vinterraps viser 2 års resultater en lidt større betydning. Det har dog ikke været muligt at eftervise sammenhængen mellem NDVI i vinterraps om efteråret og behovet det følgende forår.

Landbrugets Rådgivningscenter (1996): Kvadratnet for nitratundersøgelser i Danmark, 1990-1993. Landbrugets Rådgivningscenter, april 1996

Ørum, J.E., Jensen, J.L., Thomsen, I.K. og Knudsen, L. (2019): Optimal kvælstoftildeling til korn – responsfunktioner og metode til produktionsøkonomisk analyse af Landsforsøgene med kvælstoftildeling til vinterhvede og vårbyg samt kvalitetssikring af Normudvalgets indstillinger. IFRO rapport 211, 2019

Østergaard, H.S. og Mamsen, P. (1990): Kvadratnet for nitratundersøgelser i Danmark. Landbrugets Rådgivningscenter 1986-1989, april 1980

Østergaard, H.S. (2014): Kvælstof i vinterraps om efteråret – betydning for kvælstofbehovet om foråret. Landbrugsinfo, SEGES