

LANDSFORSØGENE 2021

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

Frøafgiftsfonden

Fonden for **økologisk** landbrug

Kartoffelafgiftsfonden



Innovationsfonden



LANDSFORSØGENE 2021

Forsøg og undersøgelser i Dansk Landbrugsrådgivning

Landsforsøgene 2021 er samlet og udarbejdet af Landbrug & Fødevarer, Planteproduktion ved chefkonsulent Jon Birger Pedersen.

Udgivet

December 2021

Trykkeri

Stibo Complete

Udgiver

Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

SEGES

Plante- & MiljøInnovation

Agro Food Park 15

8200 Aarhus N

T +45 8740 5000

E info@seges.dk

Omslag

Foto: Torkild Birkmose, SEGES

Køb

Bogen kan købes i SEGES Netbutik: www.netbutikken.seges.dk.

Pdf-udgaven af bogen samt tabeller og figurer i bogen kan hentes på www.landbrugsinfo.dk/oversigten.

Resultaterne i bogen kan frit gengives med tydelig kildeangivelse inkl. side-tal. F.eks. „Kilde: Landsforsøgene 2021, tabel xx, side yy.“

ISBN 978-87-93051-10-2

ISSN 0900-5293

Fastsættelse af kvælstofbehov i forhold til afgrødens biomasse

> LEIF KNUDSEN, SEGES

Kvælstofbehov i vinterhvede bestemt ud fra NDRE-målinger

I 2019-2021 er gennemført et GUDP-projekt (N-Tool-Precise) med det formål at udvikle en model, hvor målinger af afgrødens NDRE med satellit kan forbedre fastsættelse af kvælstofbehovet i vinterhvede. Tankegangen bag modellen er, at før tredje tilførsel af kvælstof midt i maj tilføres der 30-50 kg kvælstof pr. ha under det forventede behov i alt. Ved tredje tildeling justeres gødningsplanens angivelse af kvælstofbehovet ud fra biomasseindekset NDRE bestemt fra satellitbilleder i stadie 37, og kvælstof tilføres umiddelbart herefter. Landmanden skal kunne følge restbehovet for kvælstof online i sit gødningsplanlægningsprogram. Resultaterne af projektet afrapporteres i en særskilt rapport, mens der i det følgende gives en oversigt over de vigtigste resultater.

For at udvikle modellen er der gennemført i alt 60 forsøg i vinterhvede fra 2019 til 2021. Forsøgene har været gennemført med stigende mængder kvælstof fra 0 til 300 kg kvælstof pr. ha (se tabel 16). I alle forsøg har desuden indgået et forsøgsled, hvor der er tilført 100 kg kvælstof ved vækstsæsonens begyndelse og 200 kg kvælstof medio april. Hensigten med dette led har været

at have et forsøgsled, hvor der i hele vækstsæsonen er nok kvælstof til rådighed for afgrøden. I alle forsøg er målt biomasseindekserne NDRE og NDVI med drone fra 1-6 gange i vækstsæsonen. I alle forsøg er der foretaget en måling i stadie 37. Når der anvendes dronemålinger og ikke satellitmålinger skyldes det, at målinger med satellit ikke har tilstrækkelig opløsning til at kunne måle i parcelforsøg.

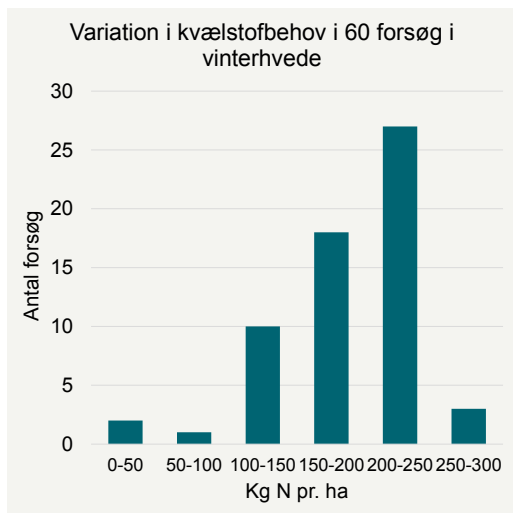
Ud af de i alt 60 forsøg har fire været på JB 1-3, 13 forsøg på JB 4, 40 på JB 5-10 og 4 på JB 11. I 32 forsøg har forfrugten været korn, i 18 forsøg vinterraps og i 11 forsøg andre forfrugter. Kvælstof ved vækstsæsonens begyndelse har været tilført midt i marts, anden tilførsel midt i april og tredje tilførsel midt i maj. Mellem forsøgene har tilførselstidspunkterne varieret +/- 14 dage.

Forsøgsopgaven går ud på at udvikle en model, hvor variationen i kvælstofbehovet kan forklares ud fra parametre, som man kender før gødskning. Herunder specielt muligheden for at anvende biomasseindekset NDRE i stadie 37 evt. sammen med andre parametre. Derfor er variationen mellem forsøgene både i optimale kvælstofmængder og i NDRE vigtig.

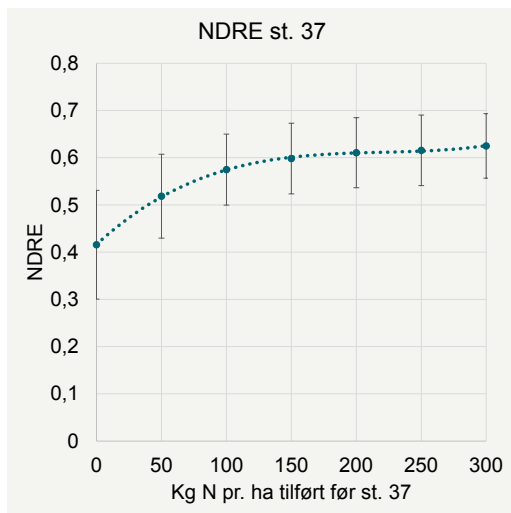
Mængden af tilgængeligt kvælstof i jorden om foråret (N-min) anvendes i dag til at fastslå kvælstofbehovet mere nøjagtigt end ved anvendelse af kvælstofnormen. Der er en spredning (standardafvigelse) på N-min på 24 kg kvælstof pr. ha. Biomasseindekset NDVI om efteråret er målt fra satellit og udtrykker den højeste målte NDVI

TABEL 16. Udbytte og NDRE målinger i 60 forsøg i vinterhvede med droneoverflyvninger. (N11)

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
Antal forsøg						60	57	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
						Gns.	Spredning	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	



FIGUR 13. variation i kvælstofbehov i 60 forsøg i vinterhvede (ikke proteinkorrigeret).



FIGUR 14. Ndre i stadie 37 ved stigende kvælstoftilførsel før dronemålingene.

fra 1. oktober til 1. december. NDVI udtrykker, hvor godt afgrøden er udviklet, inden den går ind i vinteren. NDVI er afhængig af såtidspunktet, men der er også betydelige årsforskelle. I forsøgene i 2019 var vinterhveden godt udviklet efteråret før med en NDVI på 0,69, i forsøgene i 2020 var NDVI til gengæld kun 0,53, mens den i 2021 (efteråret 2020) har været 0,74. Alt andet lige vil man forvente et lavere kvælstofbehov, hvor vinterhveden om efteråret er kraftigt udviklet.

NDRE målt i stadie 37 målt i forsøgsled med tilførsel af 150 kg kvælstof pr. ha viser en tilsyneladende begrænset spredning på 0,07 enheder.

Den optimale kvælstofmængde viser en stor spredning på 52 kg kvælstof pr. ha og med en variation fra 0 til 257 kg kvælstof pr. ha. I figur 13 er vist, hvordan den optimale kvælstofmængde fordeler sig på forskellige intervaller.

Størsteparten af forsøgene har et kvælstofbehov på 200-250 kg kvælstof pr. ha, men en betydelig del af forsøgene har et noget mindre behov.

Bestemmelse af NDRE

Biomasseindekset NDRE er bestemt fra én til seks gange i løbet af vækstperioden. Det er NDRE i stadium 37, der skal danne udgangspunkt for bestemmelse af den optimale kvælstofmængde. Dronemålingen i stadium 37

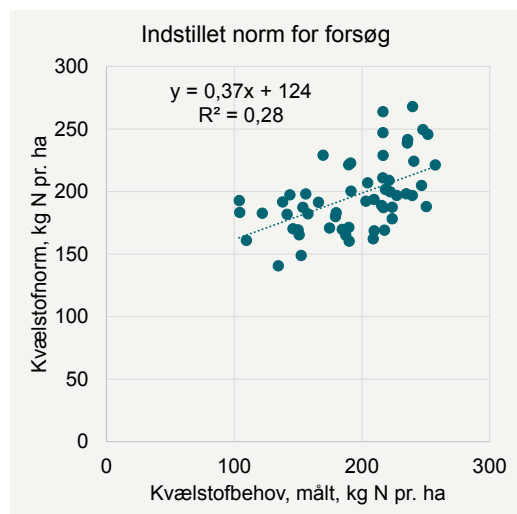
blev i 2019 og 2020 foretaget i gennemsnit den 16. maj. I 2021 har den været ca. 1 uge efter de to foregående år, fordi afgrødens udvikling i 2021 har været senere på grund af en kold maj.

I stadie 37 kan man via NDRE registrere forskelle på kvælstoftilførsel op til 150 kg kvælstof pr. ha. Der kan ikke skelnes mellem højere kvælstofmængder. I figur 14 er også indtegnet spredningen i NDRE mellem de 60 forsøg. Med NDRE er man således i stand til i stadie 32 at se, hvor meget kvælstof, som afgrøden er tildelt. Det giver en forventning om, at man med måling af NDRE også kan se forskelle i kvælstofforsyningen fra jorden i de enkelte forsøg.

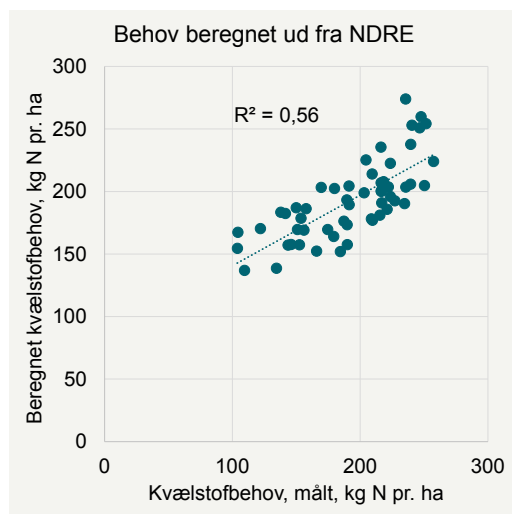
Sammenhæng mellem NDRE i stadie 37 og afgrødens kvælstofbehov

Det er undersøgt, om forudsigelse af kvælstofbehovet kan gøres mere præcist ved at inddrage målinger af NDRE i stadie 37. Udgangspunktet er, at hver enkelt forsøg gødes efter markens kvælstofnorm. Ud af de 60 forsøg i alt, har der kun været anvendt data fra 56 forsøg. Det skyldes at fire forsøg på humusjord giver meget afvigende resultater, og at der i ét forsøg ikke er målt NDRE i stadium 37.

Kvælstofnormen for det enkelte forsøg er beregnet ud fra jordtype, forfrugt, eftervirkning af husdyrgødning og efterafgrøder, kvælstofprognosen og en udbyttekor-



FIGUR 15. sammenligning af kvælstofbehov beregnet efter normer og det faktisk målte kvælstofbehov.



FIGUR 16. sammenligning af kvælstofbehov beregnet ud fra ndre og udbytte med det faktisk målte kvælstofbehov.

reaktion i henhold til Landbrugsstyrelsens vejledning om gødsning og harmoniregler for 2021/22. Eftervirkning af husdyrgødning er beregnet ud fra registreringer i forløbet fem år tilbage af tilført husdyrgødning.

I figur 15 er kvælstofnormen sammenlignet med det målte optimum i hvert af de 56 forsøg. Der er en statistisk sikker sammenhæng mellem den beregnede norm og det målte optimum. Men det fremgår også af figuren, at der kan være en stor afvigelse mellem det målte kvælstofbehov og kvælstofnormen i det enkelte forsøg. Standardafvigelsen er beregnet til 35 kg kvælstof pr. ha.

Sammenhængen mellem NDRE og kvælstofbehov er fundet ved en regressionsanalyse, hvor der er inddraget flere parametre i forklaringen af kvælstofbehovet. Analysen viser, at variationer i behovet kan forklares ud fra udbyttet og NDRE målt i forsøgsleddet ved tilførsel af i alt 150 kg kvælstof pr. ha i første og anden tilførsel. Udbyttet, der indgår i regressionsanalysen, er udbyttet i forsøget opnået ved den optimale tilførsel af kvælstof. Kvælstofbehovet kan beregnes ud fra følgende formel:

$$\text{Kvælstofbehov} = 272 \div 333 \times \text{NDRE} + \text{Udbytte} \times 1,22$$

Sammenhængen er stærk signifikant, og det gælder også både parametrene NDRE og udbytte. R^2 værdien er 0,56 og standardfejlen (spredningen) er 27 kg kvælstof pr. ha. I forhold til at gødske efter normerne har anvendelse af

NDRE-målinger forbedret bestemmelse af kvælstofbehovet. Kvælstofbehovet falder med 33,3 kg pr. ha hver gang NDRE stiger 0,1 enhed. Derudover stiger kvælstofbehovet med 1,22 kg pr. ha ved en stigning i det forventede udbytte på 1 hkg pr. ha.

I tabel 17 er kvælstoftilførsel, udbytte og variationen i kvælstoftilførsel i forhold til kvælstofbehovet i hvert enkelt forsøg vist. Hvis der gødskes efter optimum i hvert enkelt forsøg, opnås der et udbytte på 98,1 hkg pr. ha ved en gennemsnitlig tilførsel på 193 kg kvælstof pr. ha. Hvis der i stedet blev tilført 193 kg kvælstof til alle forsøg, ville udbyttet falde med 1,3 hkg pr. ha, fordi nogle forsøg vil være over- og andre forsøg underforsynet. Hvis der gødskes efter den beregnede norm for hvert enkelt forsøg, opnås der et merudbytte på 0,4 hkg pr. ha i forhold til at tilføre samme kvælstofmængde til alle forsøg. Hvis der derimod tilføres kvælstof ud fra NDRE-modellen fås et merudbytte på 0,7 hkg pr. ha i forhold til tilførsel af samme kvælstofmængde til alle forsøg. Det

TABEL 17. Sammenligning af kvælstoftilførsel, udbytter og afvigelse fra kvælstofbehovet i hvert enkelt forsøg.

Vinterhvede	Ensartet	Optimum	Norm	NDRE
<i>2019-2021. 56 forsøg</i>				
Kvælstoftilførsel, kg N pr. ha	193	193	196	193
Udbytte, hkg kerne pr. ha	96,8	98,1	97,2	97,5
Afgivelse fra optimum, standardafvigelse, kg N pr. ha	41	0	35	27

56 forsøg med dronemålinger og stigende mængder kvælstof til vinterhvede viser:

- > At der kan opnås en mere præcis fastsættelse af kvælstofbehovet på den enkelte mark ved at inddrage målinger af NDRE.
- > At udover målt NDRE indgår også det forventede udbytte i fastsættelsen af kvælstofbehovet.
- > At gødskning efter NDRE kan praktiseres ved, at der i første og anden kvælstoftilførsel i marts og medio april tilføres 40-50 kg kvælstof pr. ha mindre end det forventede behov, og restbehovet bestemmes ud fra målinger af NDRE.
- > At der med NDRE ikke kan ses forskelle i afgrødens kvælstofforsyning ved tilførsel udover 150 kg kvælstof pr. ha.

bunder i, at NDRE-modellen sikrer en mindre afvigelse fra det faktiske behov i marken.

Opgørelsen viser, at gevinsten ved at gødke mere præcist med kvælstof i den enkelte mark er relativt beskednen. Men dertil kommer, at der også undgås lejesæd og dermed høstbesvær, når kvælstoftilførslen bedre er afstemt med behovet i den enkelte mark. Desuden er der en miljøgevinst, idet udvaskningen af kvælstof stiger, hvis der overgødskes med kvælstof.

Validering af kvælstofmodel baseret på NDRE i vinterhvede

Med baggrund i 60 forsøg i vinterhvede i perioden 2019-2021 er der udviklet en model, hvor kvælstofbehovet i stadium 37 kan beregnes ud fra NDRE-værdien og det forventede udbytte. Denne model har været valideret

i ni forsøg, hvor der udelukkende har været tilført handelsgødning forud for stadie 37 og i syv forsøg, hvor der forud for stadie 37 har været tilført både handels- og husdyrgødning. Forsøgene har været anlagt i stadie 37, hvor forsøget indtil da er gødet som den omkringliggende mark. Forsøgsbehandlingerne har omfattet stigende kvælstoftilførsler på 0, 40, 80 og 120 kg kvælstof pr. ha tilført i stadie 37. Omkring tidspunktet for gødskning er biomasseindekset NDRE målt fra drone.

Forsøgene med tilførsel af handelsgødning har været tilstræbt anlagt i marker, hvor der ud fra gødningsplanen blev forventet et behov for tilførsel af kvælstof på 40-50 kg pr. ha i stadie 37. Inden stadie 37 var der tilført 143 kg kvælstof pr. ha med en variation fra 85 til 190 kg. Forfrugten har i halvdelen af forsøgene været vinterraps og resten korn. Jordtypen varierede fra JB 3 til JB 6. Gødskning i stadie 37 har været foretaget midt i maj.

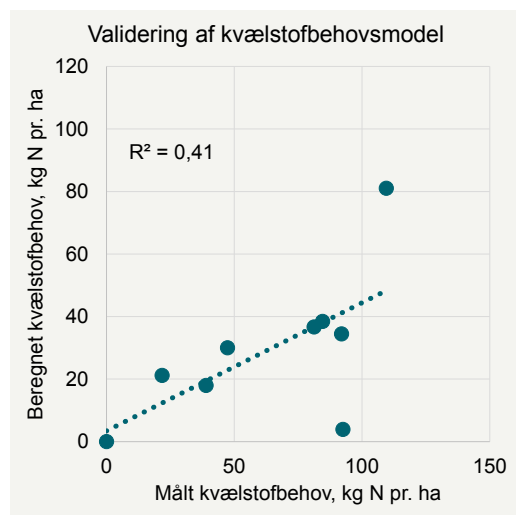
Der er opnået et signifikant merudbytte for tilførsel af ekstra kvælstof. Der er beregnet et behov for at tilføre 58 kg kvælstof pr. ha varierende fra 0 til 109 kg kvælstof pr. ha, når der ikke tages hensyn til det stigende proteinindhold. Proteinindholdet stiger ca. én enhed ved tilførsel af ekstra 40 kg kvælstof pr. ha.

NDRE-værdien er målt til 0,59. Det forventede kvælstofbehov i stadie 37 er beregnet ud fra den sammenhæng, som er udviklet i 56 forsøg i perioden 2019-2021. I figur 17 er vist sammenhængen mellem det målte og det beregnede kvælstofbehov. Bortset fra ét forsøg er der en god sammenhæng mellem det målte og beregnede behov. Dette forsøg er karakteriseret ved, at der allerede før stadie 37 har været tilført 190 kg kvælstof pr. ha, men alligevel er der ved tilførsel af yderligere 80 og 120 kg opnået merudbytter på 8 hkg pr. ha. Afvigelsen kan også

TABEL 18. Udbytte og merudbytte ved tilførsel af stigende mængder kvælstof til vinterhvede på handelsgødede arealer. (N12)

Vinterhvede	NDRE i stadie 37	Pct. råprotein i kernetørstof	Udbytte, kg N i kerne pr. ha	Udb. og merudb. hkg kerne pr. ha	Nettomerdub. uden proteinkorr., hkg kerne pr. ha	Nettomerdub. med proteinkorr., hkg kerne pr. ha ¹⁾
2021. Antal forsøg	9	10	10	10	10	10
Grundgødet	0,59	9,7	119	82,2 c	-	-
40 N	0,59	10,7	138	4,8 b	2,7	4,5
80 N	0,59	11,7	156	7,7 a	3,8	7,9
120 N	0,59	12,4	166	7,9 a	2,3	7,8
LSD				2,0		
			Gns.	Min.	Maks	
Optimal N uden proteinkorrektion			58	0	109	

¹⁾ Proteinkorrektionen er foretaget med en pris på protein på 3,50 kr. pr. procentenhed protein pr. hkg.



FIGUR 17. Sammenligning af kvælstofbehov beregnet ud fra NDRE og udbytte med målt kvælstofbehov i 9 forsøg med tilførsel af husdyrgødning forud.

skyldes, at dronemålingen først er foretaget den 5. juni, mens de fleste andre dronemålinger har været foretaget medio maj.

Med henblik på at validere kvælstofbehovsmodellen på husdyrgødede arealer, har der været anlagt 10 forsøg, hvor forsøgene indtil stadiet 37 har modtaget handels- og husdyrgødning som den omkringliggende mark. Markerne forventes på dette tidspunkt at være færdiggødede. I stadiet 37 har været tilført 0, 40, 80 og 120 kg kvælstof pr. ha. Ud fra udbytterne kan behovet for ekstra tilførsel af kvælstof i forsøget beregnes.

Kun syv af de ti forsøg indgår i valideringen af modellen. I disse forsøg har der inden stadiet 37 været tilført 80 kg

kvælstof i handelsgødning og 82 kg ammoniumkvælstof i husdyrgødning. Tilførslen af kvælstof i husdyrgødning er bestemt ud fra en analyse af gyllen, som har været svinegylle.

Der er opnået merudbytte for tilførsel af ekstra 40 kg kvælstof pr. ha i stadiet 37. Kvælstofbehovet er beregnet til 32 kg varierende fra 0 til 93 kg kvælstof pr. ha. Specielt i tre af forsøgene er der en betydelig økonomisk gevinst ved at tilføre ekstra kvælstof.

Kvælstofbehovet er beregnet ud fra NDRE og forventet udbytte med kvælstofbehovsmodellen. Generelt er der en dårlig sammenhæng mellem det målte og beregnede behov (data ikke vist). Årsagen kan være, at markerne allerede inden måling af NDRE i stadiet 37 har fået tilført fuld kvælstofmængde. Modellen har heller ikke været i

Validering af kvælstofmodellen baseret på beregning af restbehovet af kvælstof i stadiet 37 ud fra NDRE og forventet udbytte har i ni forsøg på handelsgødede og i syv forsøg på husdyrgødede arealer vist:

- > At der på handelsgødede arealer er opnået en rimelig sammenhæng mellem beregnet og målt kvælstofbehov
- > At der på husdyrgødede arealer er opnået en dårlig sammenhæng mellem beregnet og målt behov
- > At den manglende sammenhæng på husdyrgødede arealer kan skyldes, at der inden stadiet 37 er tilført en stor kvælstofmængde, og der i flere tilfælde ikke har været et restbehov.

TABEL 19. Udbytte og merudbytte ved tilførsel af stigende mængder kvælstof til vinterhvede på husdyrgødede arealer. (N13)

Vinterhvede	NDRE i st. 37	Pct. råprotein i kernetørstof	Udbytte, kg N i kerne pr. ha	Udb. og merudb. hkg kerne pr. ha	Nettomrerudb. uden proteinkorr., hkg kerne pr. ha	Nettomrerudb. med proteinkorr., hkg kerne pr. ha ¹⁾
2021. Antal forsøg		10	10	10	10	10
Grundgødet	0,6	10,0	121	81,7 c	-	-
40 N	0,6	11,3	140	1,5 bc	-0,5	2,0
80 N	0,6	12,0	152	3,3 ab	-0,4	3,6
120 N	0,6	12,8	163	4,1 a	-1,3	4,3
LSD				1,5		
				Gns.	Min.	Maks
Optimal N uden proteinkorrektion				32	0	93

¹⁾ Proteinkorrektionen er foretaget med en pris på protein på 3,50 kr. pr. procentenhed protein pr. hkg.