

Optimal kvælstofanvendelse

Titel: Optimal kvælstofanvendelse i kartoffelproduktion

Projektansvarlig: **KMC:** Christian Feder
Deltagere: **Ytteborg:** Kaj Madsen
Vestjysk: Mads Bendix
AKV-Langholt: Henrik Pedersen og Claus Nielsen
SEGES: Lars Bødker og Torkild Birkmose

Resume:

AP 1: Delt gødsning i fabrikskartofler (stivelse, pulver og proces- og chipskartofler)

Delt fast gødning: Der har været statistisk sikkert merudbytte for at dele kvælstof tidlige 25 def ved Arnborg og Dronninglund i 2021. I gennemsnit (2019-21) af de tre forsøg på JB 1 ved Arnborg er der et statistisk sikkert udbyttetab ved at eftergødske sent i forhold til at udbringe alt kvælstof ved lægning. I de tre forsøg ved Dronninglund på JB 2 er der et lille men ikke-signifikant merudbytte for deling af kvælstoffet. Effekten af eftergødskningen er generelt størst, når den sker relativt tidligt.

Delt flydende gødning: Ved Arnborg og Dronninglund resulterer deling af henholdsvis 140 og 180 kg kvælstof pr. ha i et lille, men ikke-signifikant udbyttetab i forhold til at tilføre al kvælstof ved lægning. I gennemsnit (2019-21) af i alt seks forsøg har den delte gødsning med bladgødsning holdt planterne grønne i længere tid, men på trods af det, giver den delte gødsning et lille udbyttetab.

AP 2: Gradueret kvælstoftilførsel i fabrikskartofler

Del 1: Sammenhæng mellem biomasse og kartoffeludbytte

Med baggrund i kartoffelmarker, hvor der forelægger udbyttedata fra kartoffeloptager, har det været undersøgt, om der kan findes en sammenhæng mellem biomasse (NDRE) i kartofler og kartoffeludbytte i 14 udvalgte marker. Det er lykkedes at finde en positiv korrelation med R^2 -værdi på over 0,3 i 3 af 14 marker, mens der i de resterende marker ikke har været en respons eller en negativ respons mellem biomasse (NDRE) og udbyttedata.

Det har ikke været muligt at finde en robust sammenhæng mellem biomasse (NDRE) og udbyttedata fra kartoffeloptager. En særlig stor udfordring er, at NDRE mættes hurtigt, hvilket gør det vanskelig at få en variation i biomasse.

Del 2: Forsøgssammenhæng mellem måleparametre og stivelsesudbytte

På trods af de høje kvælstofniveauer er der en god kvælstofrespons, og der er beregnet høje optimale kvælstofmængder. Jordprøven viser, at der kun er marginale forskelle i jordens ler- og humusindhold, og udbytteresponsen er stort set ens i de tre områder. Forsøget kan derfor ikke anvendes som grundlag til at udarbejde modeller til omfordeling af kvælstof.

Forsøget ved Dronninglund tyder på, at EM-38-værdien potentielt kan anvendes som grundlag for graduering af kvælstof til stivelseskartofler på lerjord, idet der skal tilføres mindst kvælstof, hvor EM-38-værdien er højest.

AP 3: Gødningsstrategier i proces- og chipskartofler

Der er opnået et lille og ikke-signifikant udbyttetab ved at dele gødningen på trods af, at forsøget har ligget på et areal og under nedbørsforhold med høj risiko for nitratudvaskning. Resultaterne har

lidt modsat 2020, hvor der var en tendens til højere udbytte ved de sene delingsstrategier. Forsøgsserien fortsætter i 2022.

Projekts faglige forløb

AP 1: Delt gødskning i fabrikskartofler (stivelse, pulver og proces- og chipskartofler)

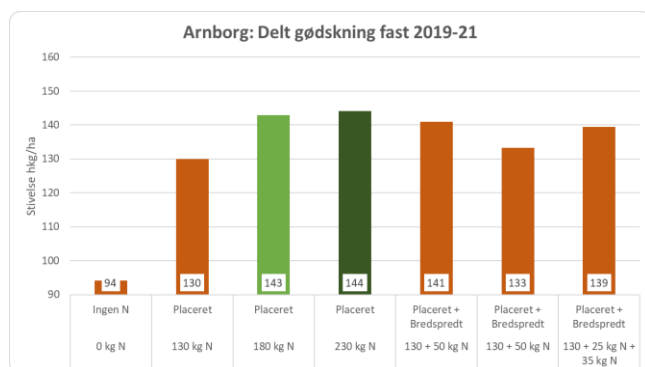
Mange marker med stivelseskartofler afmodner for tidligt i forhold til det planlagte høsttidspunkt. Når der ses synlig afmodning (gulning), har planterne allerede over en periode på 3-4 uger ikke produceret det potentielle udbytte. Ved at udbringe hele gødningsmængden før eller i forbindelse med lægning er der også risiko for udvaskning af nitrat, samt en tendens til stor topvækst, som ikke omsættes i knoldvækst. Derfor kan der være effekt af at tildele kvælstoffet ad flere gange. I 2021 har der formentlig været en betydelig nitratudvaskning fra især forsøgsarealerne på grovsand ved Arnborg, da der i maj er faldet ca. 140 mm regn, hvilket er ca. tre gange normalen.

For at undgå overgødskning af kartoflerne kan det være en fordel at tildele en startmængde af kvælstof, som er lavere end det forventede behov. Ud fra vurdering af bladsaftmålinger med Horibamåler og vurdering af plantens vækst, kan der tages stilling til, om hele eller dele af marken har behov for yderligere tilførsel af kvælstof. Ved denne metode kan man i nogle tilfælde undgå den negative effekt ved overgødskning og i andre tilfælde tilføre ekstra kvælstof og få en udbyttestigning.

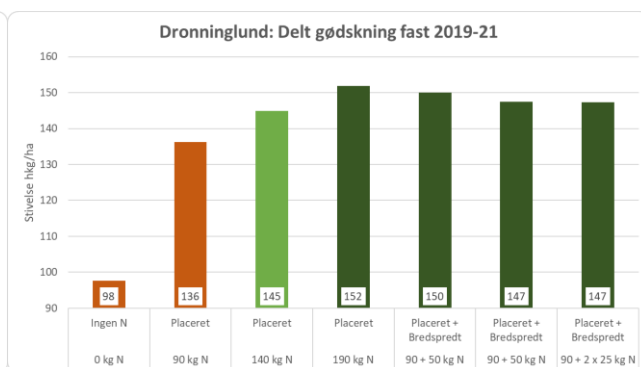
Deling af fast gødning til stivelseskartofler

I 2021 har der været gennemført to forsøg med delt kvælstof i fast NS 27-4 gødning i sorten Allstar på JB 2 ved Dronninglund og sorten Stratos på JB 1 i Arnborg. I forsøgene er indgået fire led med stigende mængder kvælstof. I begge forsøg er der 7-8 hkg højere stivelsesudbytte ved at dele kvælstoffet, så 50 kg kvælstof pr. ha er udbragt 25 dage efter fremspiring (forsøgsled 5 sammenlignet med led 3). I gennemsnit af forsøgene er merudbyttet statistisk sikkert. Det er sandsynligt, at den delte gødningstildeling har reduceret nitratudvaskningen. Når den supplerende gødning først er udbragt 42 dage efter fremspiring, er effekten dårligere, hvilket kan tyde på, at eftergødskningen er sket for sent (forsøgsled 6 sammenlignet med led 3).

I Figur 1 og Figur 2 er vist resultater for stivelsesudbyttet fra alt seks forsøg i 2019-2021. I gennemsnit af de tre forsøg på JB 1 ved Arnborg er der et statistisk sikkert udbyttetab ved at eftergødskes sent i forhold til at udbringe alt kvælstof ved lægning. I de tre forsøg ved Dronninglund på JB 2 er der et lille men ikke-signifikant merudbytte for deling af kvælstoffet. Effekten af eftergødskningen er generelt størst, når den sker relativt tidligt.



Figur 1 Delt gødskning 2019-21 med fast gødning ved Arnborg.

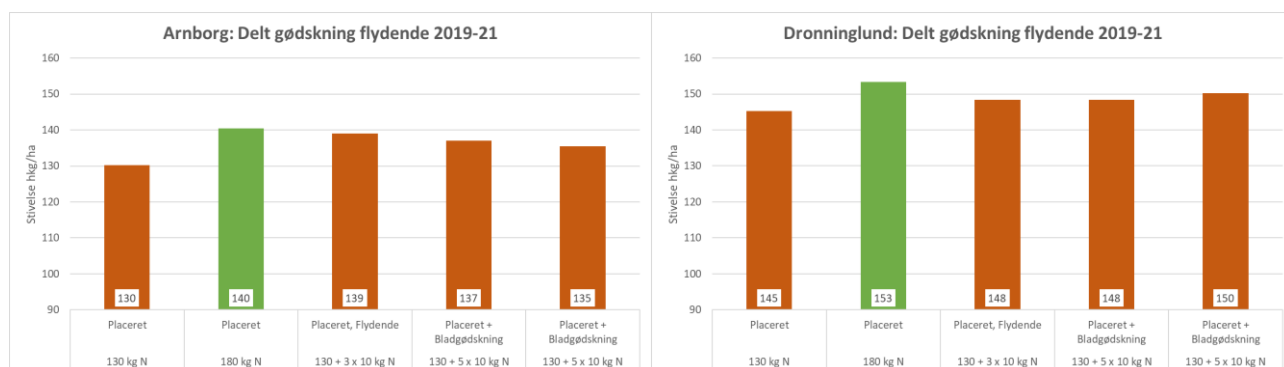


Figur 2 Delt gødskning 2019-21 med fast gødning ved Dronninglund.

Bladgødning til stivelseskartofler

I tilfælde af, at der konstateres for tidlig afmodning af stivelseskartoflerne, kan væksten forlænges ved gentagne tilførsler af kvælstof i flydende gødning sammen med skimmelsprøjtningerne. I 2021 har der været gennemført to forsøg med bladgødskning med flydende gødning i form af den urebaserede N-18 på JB 1 og 2 ved henholdsvis Arnborg og Dronninglund. I begge forsøg resulterer deling af henholdsvis 140 og 180 kg kvælstof pr. ha i et lille, men ikke-signifikant udbyttetab i forhold til at tilføre al kvælstof ved lægning.

I Figur 3 og Figur 4 er vist resultater for stivelsesudbyttet fra i alt seks forsøg i 2019-2021. På begge forsøgslokaliteter har den delte gødskning med bladgødskning holdt planterne grønne i længere tid, men på trods af det, giver den delte gødskning et lille udbyttetab.



Figur 3 Delt gødskning 2019-21 med flydende gødning ved Arnborg.

Figur 4 Delt gødskning 2019-21 med flydende gødning ved Dronninglund.

AP 2: Gradueret kvælstoftilførsel i fabrikskartofler

Del 1: Sammenhæng mellem biomasse og kartoffeludbytte

Gradueret tildeling af kvælstof i marken betyder, at man foretager en omfordeling af det tildelte kvælstof, så identificerede områder med højt kvælstofbehov får en større tildeling end områder med lavt behov. Det giver en optimering af kvælstoftildelingen, hvilket både er gavnligt for miljøet og udbyttet.

For korn og raps er der de senere år lavet satellit-baserede beslutningsstøtteværktøjer, der skal hjælpe landmanden med at graduere og optimere kvælstoftildelingen på sin mark. Dette gøres med baggrund i satellitfotos af markens biomasse (NDRE), hvor variationen i afgrødens biomasse bliver bestemmende for variationen i kvælstoftildelingen.

Gradueret kvælstoftildeling på baggrund af satellitfotos af biomasse er endnu ikke anvendt i kartoffeldyrkningen, om end potentialet for gradueret kvælstoftildeling kan være stort. Det er derfor relevant at undersøge, om satellitfotos kan bruges til gradueret kvælstoftildeling i kartofler. For at undersøge dette, er det nødvendigt at fastslå om satellitbiomassemålinger i kartofler er en god indikator for kartofflens udbytte. Undersøgelsen har i 2021 omfattet sammenhængen mellem satellitbiomassemålinger (NDRE) og kartoffeludbytte på i alt 14 kartoffelmarker, se Tabel 1 og Tabel 2.

Tabel 1 Oplysninger om de 5 marker, der indgår i analysen med udbyttedata fra 2019.

Navn	Marknr.	IMK_Areal	Afgrøde 2017	Afgrøde 2018	Afgrøde 2019
KMC_81	81-0	1.46	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-
KMC_82	82-0	2.77	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-
KMC_83	83-0	10.32	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-
AKV_50	50-0	3	Græs med kløver/lucerne, under 50 % bælgpl. (omdrft)	Græs med kløver/lucerne, under 50 % bælgpl. (omdrft)	Kartofler, lægge
AKV_7	7-0	6.65	Vårbyg	Rajgræs, alm.	Kartofler, stivelses-

Tabel 2 Oplysninger om de 9 marker, der indgår i analysen med udbyttedata fra 2020.

Navn	Marknr.	IMK_Areal	Afgrøde 2018	Afgrøde 2019	Afgrøde 2020
AKV_508	1-0	12.17	Vårbyg	Rajgræs, alm.	Kartofler, stivelses-
AKV_513	1-1	1.75	Vårbyg	Rajgræs, alm.	Kartofler, lægge
KMC_51	51-0	13.64	Vårbyg	Rajgræs, alm.	Kartofler, stivelses-
KMC_75	75-0	14.45	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-
KMC_47	47-0	3.02	Vårbyg	Vinterhybridrug	Kartofler, stivelses-
KMC_136	136-0	6.16	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-
KMC_172	172-0	13.92	Vårbyg	Vinterhybridrug	Kartofler, stivelses-
KMC_181	181-0	10.62	Vårbyg	Vinterhybridrug	Kartofler, stivelses-
KMC_215	215-0	5.38	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler, stivelses-

Analysen beskriver de bedste korrelationer, der er fundet mellem satellitbiomassemålinger (NDRE) og kartoffeludbytter udtrykt ved R^2 -værdien. Analysen deler sig op i tre afsnit, hvor det første omhandler de marker, hvor der er fundet en god korrelation, det andet hvor der ingen respons er mellem kartoffeludbytte og NDRE og et tredje afsnit, der omhandler de marker, hvor der er en negativ sammenhæng mellem kartoffeludbytter og satellitbiomassemålinger.

Der er lavet følgende antagelser for at vurdere om sammenhængen mellem biomassemålinger og registrerede udbytter er god:

- Korrelationen skal have en R^2 -værdi på over 0,3.
- Korrelationen skal være positiv.

Ud af de 14 undersøgte marker er der fundet tre marker, som udviste en god, positiv sammenhæng mellem satellitbiomassemålinger og kartoffeludbytte, hvoraf særligt en af markerne syntes at have generel tendens til at variationen i udbytter kunne forklares ud fra variationen i biomasse. En mark udviste en stærk negativ sammenhæng, der indikerer, at områder med høj biomasse får lave kartoffeludbytter ved høst. For 10 af markerne blev der fundet en ringe sammenhæng mellem satellitbiomassemålinger og kartoffeludbytte indenfor mark.

Der kan være flere årsager til, at der ikke er fundet en sammenhæng mellem registrerede udbyttedata i kartofler og NDRE.

- Er udbytteregistreringerne i kartofler pålidelige?
- Der synes at være udfordringer med at NDRE mættes hurtigt, hvilket gør det vanskelig at få en variation i biomasse.
- Er der sammenhæng mellem biomasse i toppen af kartoffelplante og plantens udbytte under jorden ved forskellige gødningsniveauer i forskellige sædskifter, år og sorter?

Det er spørgsmål, som bør undersøges nærmere for at endeligt at kunne konkludere om satellitbiomassemålinger kan bruges til gradueret kvælstofdeling i kartofler.

Se endvidere notat: *Sammenhæng mellem kartoffeludbytter og satellitbiomassemålinger i 2019 og 2020 på udvalgte marker*

Del 2: Forsøgssammenhæng mellem måleparametre og stivelsesudbytte

Udstyr til graduering af gødning er efterhånden almindelig på mange bedrifter, og graduering af kvælstof til især vintersæd er udbredt praksis mange steder. Kvælstoffet gradueres ud fra modeller bl.a. baseret på landsforsøg, idet der ud fra forsøgene er fundet god relation mellem afgrødens biomasse og kvælstofbehovet. Der findes endnu intet forsøgsgrundlag til at udarbejde modeller til graduering af kvælstof til kartofler. Kartofflers vækstform er så forskellig fra korns, at modellerne for korn ikke kan tilpasse til kartofler. Der er derfor brug for et specifikt forsøgsgrundlag, hvis der skal udarbejdes tildelingsmodeller til kartofler.

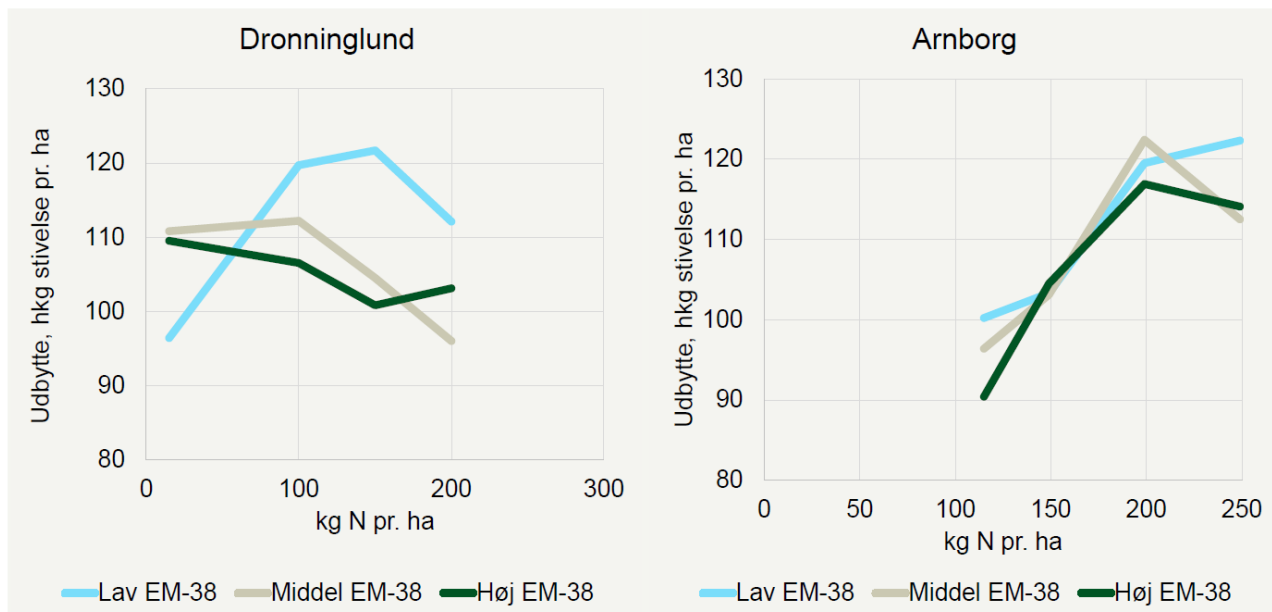
Derfor blev der i 2020 iværksat en forsøgsserie i stivleskartofler, hvor formålet var at fastsætte kvælstofbehovet forskellige steder i marker, som har en stor variation i jordbunden. Områderne karakteriseres med jordprøver og måling med EM-38. EM-38-værdien er normalt godt korreleret til jordens indhold af ler og humus. Gennem vækstsæsonen blev afgrødens biomasse målt i form af biomasseindekset NDRE målt fra drone flere gange.

I 2020 blev der gennemført to forsøg i henholdsvis Dronninglund og Arnborg. Disse forsøg blev anlagt med led med stigende mængder kvælstof med henholdsvis 13 og 20 gentagelser i hele markens længe. Udbyttevariationer i udbytter og optimale kvælstofmængder kan derved måles og forsøges korreleret med bl.a. EM-38 og biomasse. Resultaterne viste, at der var positiv korrelation mellem EM-38 og udbyttet og mellem NDRE og udbyttet, men da korrelationerne var de samme ved alle kvælstofniveauer, kan hverken EM-38 eller NDRE umiddelbart anvendes som grundlag for graduering af kvælstof.

I 2021 har der været gennemført yderligere to forsøg ved Dronninglund og Arnborg, men efter et andet forsøgsdesign. En mark med formodet stor variation i jordbunden er blevet opmålt med EM-38, og der har været anlagt tre selvstændige forsøg i marken i områder med henholdsvis lave, mellem og høje EM-38-værdier. Hvert forsøg har været anlagt med fire kvælstofniveauer og fire gentagelser. Områderne er blevet karakteriseret med jordprøver, og afgrødens biomasse er blevet målt fra drone tre gange i løbet af vækstsæsonen i form af biomasseindekset NDRE.



Forsøget ved Arnborg er ved et uheld blevet grundgødsket med 115 kg kvælstof i flydende ammoniak pr. ha, og leddene med stigende mængder kvælstof lagt oven i denne mængde. På trods af de høje kvælstofniveauer er der en god kvælstofrespons, og der er beregnet høje optimale kvælstofmængder. Jordprøven viser, at der kun er marginale forskelle i jordens ler- og humusindhold, og udbytteresponsen er stort set ens i de tre områder. Forsøget kan derfor ikke anvendes som grundlag til at udarbejde modeller til omfordeling af kvælstof.



Figur 5 Udbytter ved stigende mængder kvælstof i tre forskellige områder af marken med forskel i EM-38-værdier.

Forsøget ved Dronninglund har været anlagt på et areal med et relativt højt lerindhold til dyrkning af stivelseskartofler. Både ler- og humusindhold har været væsentlig højere i området med høj EM-38 end i området med mellem og lav. I områderne med mellem og høj EM-38 er der kun beskeden kvælstofrespons, og det optimale kvælstofniveau er lavt. Da der ses et betydeligt udbyttefald ved stigende kvælstoftilførsel, har disse områder sandsynligvis været overforsyning med kvælstof (Figur 5). Overforsyningen med kvælstof indikeres også af bladstængelernes nitratinhold, som har været målt flere gange i løbet af vækstsæsonen. I de kvælstofgødgede parceller ligger nitratinholdet betydeligt over det anbefalede niveau midt i juli (data ikke vist). Dette forsøg tyder på, at EM-38-værdien potentielt kan anvendes som grundlag for graduering af kvælstof til stivelseskartofler på lerjord, idet der skal tilføres mindst kvælstof, hvor EM-38-værdien er højst.

Tabel 3 Gradueret kvælstof til stivelseskartofler.

Stivelseskartofler	Jordprøve			NDRE, juli-aug. ved 0 kg N pr. ha	Økonomisk optimal kg N pr. ha
	Humus, pct.	Ler, pct.	JB		
<i>Dronninglund</i>					
Forsøg 1 Område med lav EM-38	3,3	10,1	6	0,43	125
Forsøg 2 Område med mellem EM-38	5,1	11,4	6	0,46	49
Forsøg 3 Område med høj EM-38	6,2	14,4	6	0,46	0
<i>Arnborg</i>					
Forsøg 1 Område med lav EM-38	3,4	2,9	1	0,45	318
Forsøg 2 Område med mellem EM-38	3,2	2,9	1	0,43	205
Forsøg 3 Område med høj EM-38	2,7	3,0	1	0,40	213

Der er kun meget små forskelle mellem NDRE mellem de tre områder (Tabel 4), og umiddelbart kan NDRE derfor ikke anvendes som grundlag for graduering af kvælstof til stivelseskartofler.



AP 3: Gødningsstrategier i proces- og chipskartofler

Proceskartofler anvendes til bl.a. pulver, kartoffelchips og pommefrites. Ofte vil man vælge at tage disse kartofler op tidligt i godt føre, så de kan komme tørre og rene ind på lageret. For at sikre at kartoflerne er afmodnede og lagerfaste på dette tidlige tidspunkt, vælges ofte en tidlig sort. Når man gør det, diskuteres det, om man kan afslutte gødsningen for sent, hvis man deler kvælstoffet.

Der har været gennemført et forsøg i sorten Verdi ved Arnborg, hvor effekten af gødning, som er tildelt én gang ved lægning, er sammenlignet med delt gødsning, hvor gødsningen er afsluttet på forskellige tidspunkter. I led 1 til 3 er der planlagt at tilføre i alt 240 kg kvælstof pr. ha. I led 4 tildeles 170 kg kvælstof ved lægning og resten ud fra behovsanalyser baseret på nitratsaftmålinger. Forsøgsplan og resultater er vist i Tabel 4.

Der er opnået et lille og ikke-signifikant udbyttetab ved at dele gødningen på trods af, at forsøget har ligget på et areal og under nedbørsforhold med høj risiko for nitratudvaskning. I forsøgsled 4 er kvælstofstrategien blevet fastlagt ud fra målinger af nitratinholdet i bladene målt med Horiba. Ved begge planlagte vurderingstidspunkter viste målingen et så højt indhold af nitrat i bladstænglerne, at det blev vurderet, at der ikke var behov for eftergødsning. Strategien viste sig at være rigtig, da der ikke er udbyttetab i forhold til forsøgsled 2 og 3 med eftergødsning. Det tyder derfor på, at kvælstofniveauet har været for højt til en reel vurdering af delingsstrategien.

Tabel 4 Gødningsstrategier i proceskartofler.

Proceskartofler	Tilførsel af kvælstofgødning			Plante- farve ¹⁾ , ca. 1. september (1-10)	Stivelse, pct.	Udb. og merudb. pr. ha		
	Kvælstofmængde og -type	Udbringnings- metode	Tidspunkt			hkg. knolde	hkg. stivelse	netto ²⁾ , kr. pr. ha
<i>2021. 1 forsøg i sorten Verdi ved Arnborg, JB 1, N-min: 48 kg N pr. ha.</i>								
1.	240 kg N	Placeret	Ved lægning	6	20,8	541	112	36.590
2.	170 kg N + 35 N i NS 27-4 + 35 N i NS 27-4	Placeret Bredspredt Bredspredt	Ved lægning 29. juni 13. juli	6	20,9	-15	-2	-942
3.	170 kg N + 35 N i NS 27-4 + 35 N i NS 27-4	Placeret Bredspredt Bredspredt	Ved lægning 6. juli 28. juli	6	20,8	-23	-5	-1.690
4.	170 kg N	Placeret	Ved lægning	6	20,5	-14	-4	-1.008
LSD					ns	ns	ns	

¹⁾ Karakteren for plantefarve (0-10), hvor 10 er helt grøn.

²⁾ Nettoudbyttet er beregnet ved en stivelsespris på 3,40 kr. pr. kg og en kvælstofpris på 6,49 kr. pr. kg. Der er indregnet en omkostning til eftergødsning på 80 kr. pr. ha pr. gang.



Projektets formål

AP 1: Delt gødsning i fabrikskartofler (stivelse, pulver og proces- og chipskartofler)

At opnå en forbedret styring af kvælstoftildelingen til fabriks- og læggekartofler, for at sikre et økonomisk optimalt udbytte, kombineret med en forbedret sygdomskontrol og produktion af lageregnede kartofler.

AP 2: Gradueret kvælstoftilførsel i fabrikskartofler

Projektet har 2 delmål.

1) Via indsamling af udbyttedata fra kartoffelmarker, sammenholdt med NDVI kort i afgrøder i kartoffelfrie år, skal en dataanalyse eftervise evt. tilstrækkelige gode korrelationer, og udmønte sig i et markudbyttepotentialekort i kartofler.

2) Via forsøg af eftervise sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og kartoffeludbytte til en række måleparametre som EM-38, TDR, bladsaftmålinger med Horiba, MobilLas, droneoverflyvning.

De to delmål skal indgå som elementer i en fremtidig kvælstoftildelingsmodel i fabrikskartofler.

AP 3: Gødningsstrategier i proces- og chipskartofler

Via gødningsstrategier at opdatere viden om delt gødsning, og dens påvirkning på afmodning og nedvisning af kartofler, indvirkning på lagring på kort og lang sigt, påvirkning af ovenstående kvalitetsparametre, og specielt indvirkning på sukkerindholdet i de lagrede proces- og chipskartofler.

Offentliggørelser:

Kartoffeldagen 2021, d. 31. august 2021

Landsforsøgene 2021, side 289-291-294 og 296-297.

Nordic Field Trial System: <https://nfts.dlbr.dk/>

Forsøgsnummer: 040102121, 04112121, 040232121, 040402121, 040412121, 040422121

Web: <http://www.kartoffelafgiftsfonden.dk/> og <http://www.kmcagro.dk/forsoeg/forsoeg-2021-rapporter/>