

Kartoffeldyrkning og kvælstofudvaskning – fagligt input til vurdering

Forfattere: Malte Nybo Andersen og Søren Kolind Hvid, SEGES Innovation

Introduktion

Fra 2027 ændres kvælstofreguleringen i dansk landbrug grundlæggende. Hvor reguleringen tidligere har fokuseret på tilførsel af kvælstof, vil den fremover tage udgangspunkt i den beregnede udledning af kvælstof til kystnære områder. I denne nye model får afgrødevalget og dyrkningspraksis en central betydning for overholdelsen af den udledningskvote, der tildeles den enkelte bedrift. Kartoffler er i den sammenhæng en afgrøde, der får beregnet en høj kvælstofudledning.

Der findes meget få målinger af kvælstofudvaskning i kartofler og de fleste af de måledata, der findes, er fra 1990'erne. I NLES5 er kartofler kommet i samme afgrødegruppe som majs og majs helsæd, og det er usikkert, hvilket datagrundlag der er brugt til denne vurdering af kartoflers placering. I NLES5 er der ingen differentiering mellem længden af vækstperioden for forskellige kartoffeltyper, selv om vækstperioden i praksis kan variere betydeligt og strække sig fra medio maj (spisekartofler under plast) til ultimo oktober (sildige stivelseskartofler). Udvasningsmålingerne fra 1990'erne er gennemført under daværende dyrknings- og gødningspraksis. Siden da er kartoffelproduktionen ændret markant, blandt andet gennem højere ydende kartoffelsorter med længere vækstsæson, præcise gødningsstrategier samt teknologisk udvikling af maskiner til øget dyrkningsikkerhed. Disse ændringer har haft betydning for kvælstofudnyttelsen i kartoffelafgrøden og kan samtidig have påvirket risikoen for kvælstofudvaskning ved dyrkning af kartofler. Det historiske datagrundlag vurderes derfor ikke at være repræsentativt for nutidig kartoffeldyrkning.

Formålet med dette notat er at bidrage med data, dokumentation og faglig viden, der kan understøtte en mere tidssvarende og nuanceret vurdering af kvælstofudvaskning fra kartoffeldyrkning i 2026. Notatet sammenfatter udviklingen i dyrknings- og gødningspraksis fra ca. 1990 til 2026 med fokus på forhold, der har betydning for kvælstofudnyttelse og udvasningsrisiko. Notatet bygger primært på kvantitative data og dokumenterede ændringer i praksis, men inddrager også faglige vurderinger og erfaringsbaseret viden.

Notatet har ikke til formål at fastsætte et konkret udvasningsniveau, men at bidrage med et opdateret fagligt grundlag, som kan indgå i vurdering og modellering af kvælstofudvaskning fra kartoffeldyrkning.

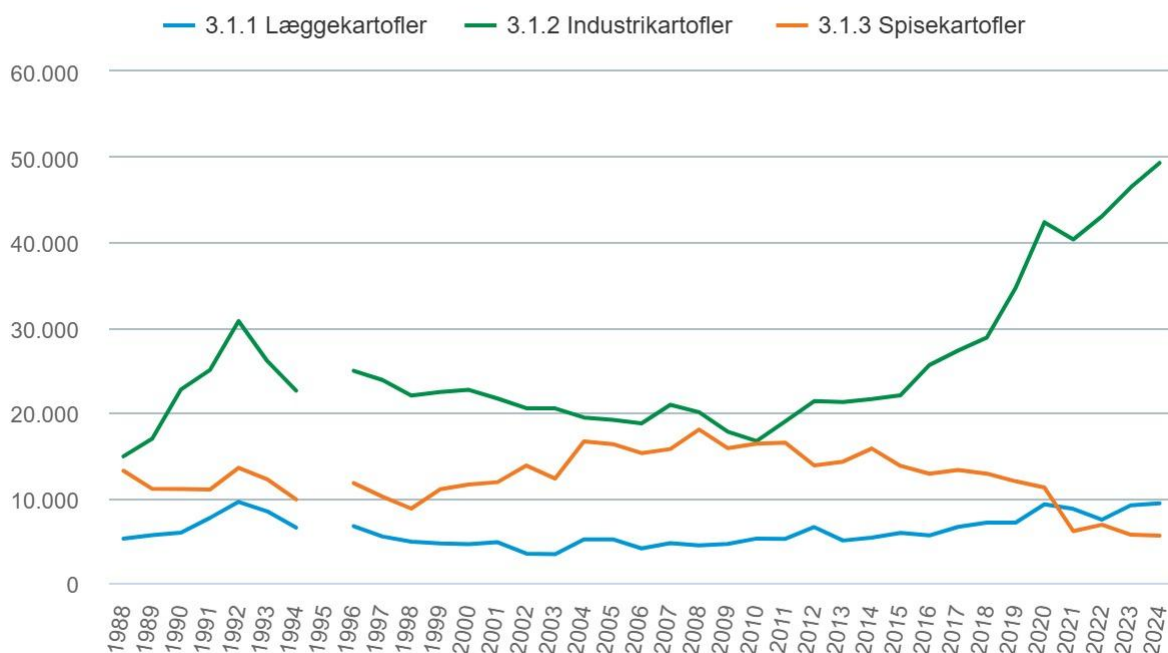
Areal og sortsudvikling

Siden 1990'erne har der været en betydende ændring i anvendelsen af kartoffelsorter i dansk kartoffelproduktion, både hvad angår produktionstype og sorterens vækstkarakteristika. I 1990'erne var en relativt stor andel af kartoffelarealet spisekartofler, herunder især tidlige og middeltidlige sorter med kortere vækstsæson, som var tilpasset konsum og hjemmemarkedet. Det gjaldt blandt andet sorter som Sava, Folva og senere Ditta, som blev anvendt bredt som spisekartofler. Disse sorter blev høstet tidligt for at opnå en ensartet størrelse (40-60 mm) af høj kvalitet til brug i frisk konsum.

Siden da er der sket et gradvist, men tydeligt skift mod en større andel industrikartofler, særligt stivelseskartofler. Statistikbankens opgørelser (læggekartofler, industrikartofler og spisekartofler) viser, at arealet med stivelseskartofler er steget markant de seneste 15 år, mens arealet med spisekartofler er reduceret (figur 1). I 2025 var det totale areal med kartofler ca. 74.376 ha, hvoraf 50.028 ha er stivelseskartofler og ca. 6.467 ha er spisekartofler (data ikke vist i figur 1). Denne udvikling afspejler en strukturel ændring i kartoffelproduktionen, hvor forarbejdning, eksport og industriel anvendelse har fået stigende betydning.

Afgrøder

Areal: I alt | Enhed: Hektar | Afgrøde:



Figur 1: Dataudtræk fra Danmark Statistik. De angivne kategorier dækker over flere afgrødekoder.

Parallelt hermed er der sket en ændring i sorterens sildighed. Hvor der tidligere var større fokus på tidlige og middeltidlige sorter til produktion af spisekartofler, anvendes der i dag i højere grad middelsene og sene sorter til produktion af stivelseskartofler. Sorter som Kuras og Ydun er eksempler på stivelsessorter med lang vækstsæson (høst frem til ultimo november), høj stivelsesprocent og et stort udbyttepotentiale, hvilket er afgørende for økonomien i stivelsesproduktionen. Den længere vækstsæson udnyttes bedre i takt med forbedret dyrkningsteknik, mere effektiv sygdomsforebyggelse og teknologiske fremskridt i kartoffeldyrkningen, herunder præcisionslandbrug og maskinelt udstyr til sen optagning. Samtidig har øget kapacitet på stivelsesfabrikkerne og ændret markedsforhold med aftagere reduceret behovet for tidlig høst, hvilket tidligere var en væsentlig drivkraft bag dyrkning af spisekartofler til frisk konsum.

Sortsanvendelse i stivelseskartoffelproduktion i nyere tid

I tabel 1 ses det, at stivelseskartoffelarealet i Danmark i overvejende grad er baseret på sildige sorter med lang vækstsæson. Hovedparten af arealet er koncentreret på sorter som Ydun, Kuras, Allstar og Stratos, som alle er kendetegnet ved højt udbytte- og stivelsespotentiale og en lang aktiv vækstperiode, hvor knold- og stivelsesdannelsen fortsætter langt ind i sensommeren og det tidlige efterår. De tre dominerende sorter Kuras, Ydun og Allstar udgør tilsammen omkring halvdele af arealet hos KMC og op mod tre fjerdedele hos AKV, hvilket understreger den klare vægt på sene sorter i stivelsesproduktionen. Opgørelsen er baseret på data fremsendt af KMC og AKV og bygger på deres viden om salg af læggemateriale. Der er derfor en vis usikkerhed forbundet med fordelingen, men den vurderes at give et retvisende billede af sortsanvendelsen i praksis i 2025.

Samlet set viser udviklingen siden 1990'erne en tydelig forskydning fra spisekartofler med kortere vækstsæson mod sildige sorter med længere vækstsæson og højere udbytte, særligt inden for stivelsesproduktionen.

Dynamik i kartoflers kvælstofoptag: sortsegenskaber, høsttidspunkt og udvaskningspotentiale

Data fra Statens Planteavlsvforsøg (beretning nr. 1925, *Optagningstid og kvælstofgødskning i kartoffelsorter, 1988*) viser, at kvælstofoptaget i kartofler varierer betydeligt over vækstsæsonen og mellem sorter. I fire forsøg gennemført i årene 1984-1986 blev kvælstofoptaget i knolde og top opgjort ved tre optagningstidspunkter (15/7, 15/8 og 1/10) for sorterne Bintje, Posmo, Senator og Dianella ved kvælstoftilførsler på 100, 200 og 300 kg N pr. ha. Sorten Bintje er en typisk spisekartoffelsort, hvorimod Posmo, Senator og Dianella blev anvendt til industriel forarbejdning. Posmo, Senator og Daniella anvendes ikke længere til produktion af kartoffelstivelse.

Resultaterne viser (se bilag 1), at kvælstofoptaget i knolde var relativt begrænset ved den tidlige optagning. Som gennemsnit af sorterne var optaget i knolde den 15/7 henholdsvis 52, 57 og 60 kg N pr. ha ved kvælstoftilførsel på 100, 200 og 300 kg N pr. ha. Frem mod sen optagning steg kvælstofoptaget markant, og ved optagning 1/10 var det gennemsnitlige optag i knolde øget til henholdsvis 122, 158 og 181 kg N pr. ha ved de tre kvælstofniveauer. Dette viser, at en væsentlig del af kvælstofoptaget i knoldene fandt sted sent i vækstsæsonen. Udviklingen over tid var særligt udtalt ved de højere kvælstoftilførsler, hvor forskellen mellem tidligt og sent registreret optag var størst. Samtidig fremgår det, at en betydelig del af kvælstoffet i den tidlige del af vækstforløbet var bundet i toppen snarere end i knoldene. For eksempel var kvælstofoptaget i toppen ved gødningsniveau på 200 kg N pr. ha, 117 kg N pr. ha ved tidlig optagning (15/7), mens det en måned senere (15/8) var reduceret til 48 kg N pr. ha, hvilket afspejler en ændret fordeling mellem top og knolde i takt med afgrødens udvikling (ingen registrering af kvælstofoptag i top den 1/10).

Nyere Landsforsøg med afprøvning af årligt 10 sorter til stivelsesproduktion i perioden 2017-2025 viser et markant højere kvælstofoptag i knolde ved tilsvarende kvælstoftilførsler. Ved en tilførsel på 100 kg N pr. ha er knoldoptaget omkring 150 kg N pr. ha, hvilket ligger ca. 25 kg N pr. ha højere end

Tabel 1: Arealfordeling (pct.) af kartoffelsorter dyrket til stivelsesproduktion hos henholdsvis KMC og AKV.

Sort	KMC (pct.)	AKV (pct.)
Allstar	7	25
Ardeche	1	4
Avarna	2	
Avenue	6	
Janick	1	
Jubilat	1	
Kuras	24	50
Lady Rosetta	1	
Luneba	3	
Saprodi	3	2
Sarion	1	
Saturna	2	
Scoope	2	
Seresta	3	5
Skawa	1	5
Stratos	8	
Tarzan	3	
Verdi	4	
Ydun	28	
Kuba		1
Fyone		2
Nofy		5

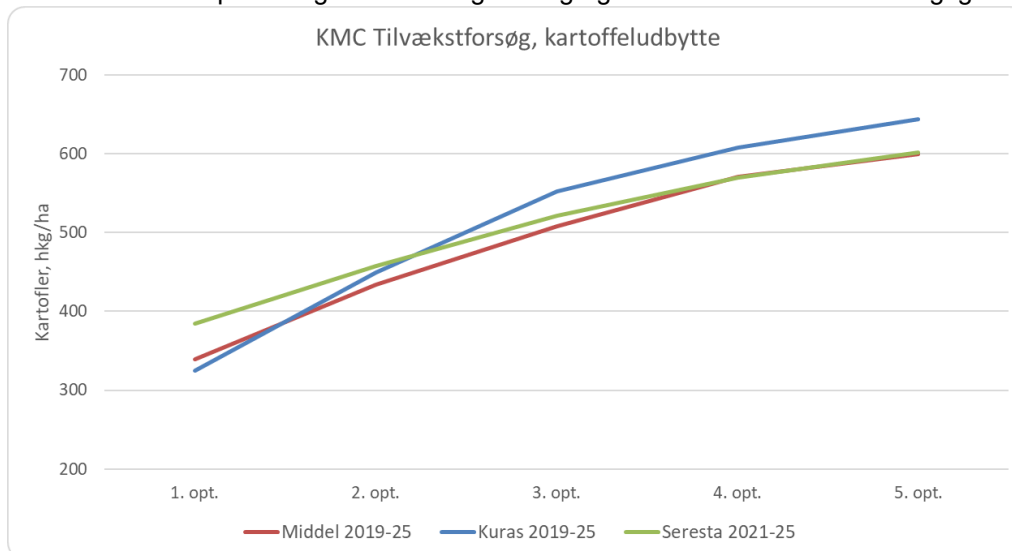
forsøgene fra 1984-1986. Ved 200 kg N pr. ha øges knoldoptaget til ca. 210-215 kg N pr. ha, svarende til en forskel på omkring 50-60 kg N pr. ha, mens knoldoptaget ved 300 kg N pr. ha ligger omkring 245-250 kg N pr. ha, dvs. ca. 60-70 kg N pr. ha højere. Se data/figurer i afsnit 'Kvælstofbalance og N-min efter høst (nyere data)' side 7.

Som supplement blev der undersøgt for kvælstofoptagelse og kvælstofudnyttelse i rapporten "Kartoffelsorter til melproduktion 2000-02. Undersøgelser af kvælstofbehov, udbyttepotentiale og kvalitet" udarbejdet af Danmarks Jordbrugsforskning (Poul Erik Lærke m.fl.) i samarbejde med kartoffelerhvervet (KMC og AKV Langholt). Her beskrives bl.a. følgende: "Udnyttelsesprocenten af den tildelte kvælstof var større på Tylstrup forsøgsstation, hvor der blev gødsket med 170 kg N pr. ha, end på Jyndeved forsøgsstation, hvor der blev gødsket med 200 kg N pr. ha. Selv efter tidlig vækststandsning optog alle sorter på nær Dianella og Karnico mere kvælstof end de fik tildelt på Tylstrup forsøgsstation. Efter sen vækststandsning var udnyttelsesprocent for kvælstof endnu højere for alle sorter.". Selvom der beskrives en god kvælstofudnyttelse, ligger den fortsat væsentligt under niveauet i Landsforsøgene fra 2017-2025. Det fremgår desuden af bilag 2, at 7,5 pct. af det samlede kvælstofoptag i de syv sorter finder sted i perioden fra første nedvisningstidspunkt (1. september) til andet nedvisningstidspunkt (1. oktober).

Ovenstående forskelle indikerer, at moderne stivelsessorter og dyrkningssystemer har et væsentligt større kvælstofoptag og en bedre udnyttelse af både tilført og/eller mineraliseret kvælstof fra jordpuljen. Den forbedrede kvælstofudnyttelse kan dog ikke entydigt tilskrives sorterne alene, men må også ses som et resultat af et samspil mellem sortsforædling, forbedret dyrkningspraksis og mere målrettede gødningsstrategier.

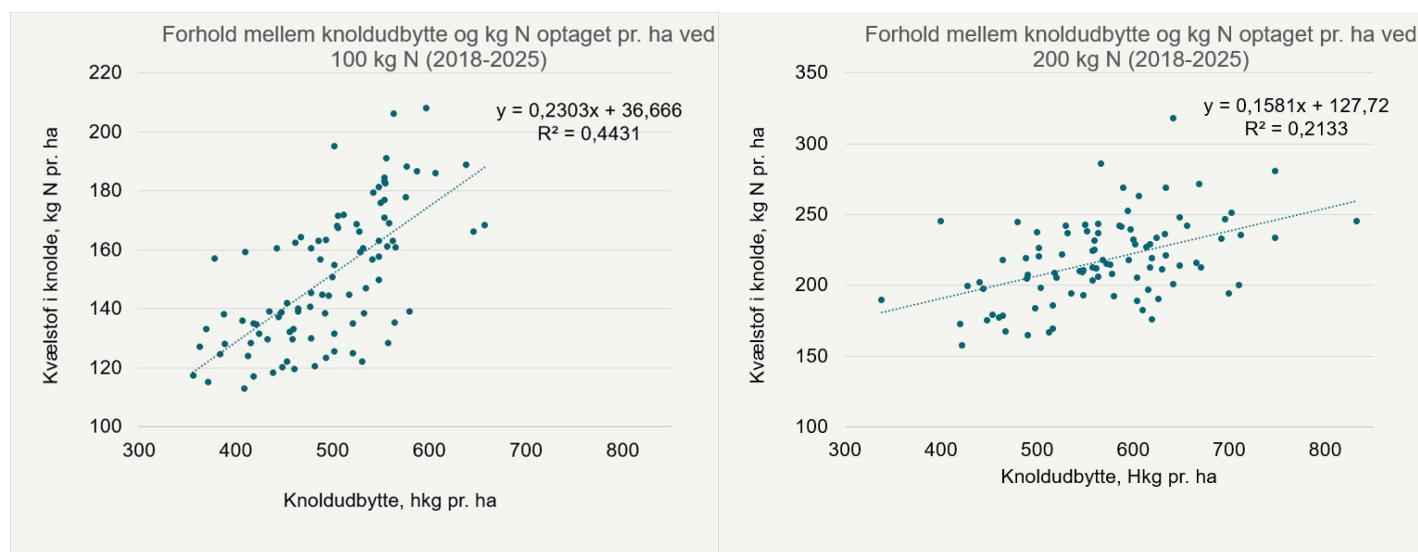
Tilvækst i nye sorter til stivelsesproduktionen

Resultater fra monitorering af tilvækst i stivelseskartofler udført af KMC i perioden 2019-2025, omfattende årligt mellem fem og ti sorter, viser, at knoldtilvæksten fortsætter langt ind i sensommeren og frem til medio september (5. og sidste optagning). Der er en betydelig stigning i knoldudbyttet fra første optagning og helt frem til sidste optagning (figur 2). Dette indikerer et vedvarende potentiale for kvælstofoptag i afgrøden sent i sæsonen. Der er ikke målt kvælstofindhold i knoldene ved optagning, hvorfor den reelle relation mellem tilvækst og kvælstofoptag ikke kendes. I 2024 og 2025 indikerer en senere 6. opgravning, at knoldudbyttet umiddelbart stagnerer efter 5. opgravning. Denne vurdering er imidlertid baseret på et begrænset datagrundlag og bør derfor tolkes med forsigtighed.



Figur 2: Tilvækst i knoldudbytte ved gentagne optagninger i stivelseskartofler (KMC, 2019-2025). Kuras og Seresta vises særskilt og indgår ligeledes i gennemsnittet (rød kurve).

Figur 3 viser sammenhængen mellem knoldudbytte og kvælstofoptag i kartoffelknolde ved henholdsvis 100 og 200 kg N pr. ha. Formålet er at belyse, i hvilken grad variationen i kvælstofoptag kan forklares af knoldudbytte, og hvordan denne sammenhæng ændrer sig med stigende kvælstoftilførsel. Ved et gødningsniveau på 100 kg N pr. ha (figur 3) ses en positiv sammenhæng mellem knoldudbytte og kvælstofoptag ($R^2 = 0,44$). Det viser, at kvælstofoptaget i høj grad følger udbyttet ved dette kvælstofniveau, og at kartoflerne udnytter både tilført og jordbundet kvælstof effektivt. Ved 200 kg N pr. ha er sammenhængen fortsat positiv, men væsentligt svagere ($R^2 = 0,21$). Overordnet er der en positiv relation mellem knoldudbytte og kvælstofoptag i knolde, men sammenhængen er relativt varierende med tilført kvælstof – især ved højere gødningsniveauer.



Figur 3: Sammenhæng mellem knoldudbytte og kvælstofoptag i knolde ved henholdsvis 100 og 200 kg N pr. ha, baseret på forsøgsdata fra 2018–2025. Punkterne repræsenterer enkeltsort i et år, og de stiplede linjer viser lineær regression med angivet forklaringsgrad (R^2).

I den sammenhæng giver KMC's tilvækstforsøg i figur 2 et fint supplerede perspektiv. Knoldudbyttet i moderne og mere sildige sorter fortsætter med at stige langt ind i sensommeren. Selvom tilvækstforsøgene ikke kan anvendes til at kvantificere kvælstofoptaget direkte, indikerer forsøgene, at knoldtilvækst og dermed kvælstofoptagelse fortsætter sent i vækstsæsonen.

I DJF-rapporten nr. 79, *Afprøvning af kartoffelsorter til melproduktion*, udarbejdet af Danmarks Jordbrugsforskning (Poul Erik Lærke m.fl.) i samarbejde med kartoffelerhvervet (KMC og AKV Langholt) beskrives der følgende: *"Til trods for at de tidlige sorter havde det højeste indhold af kvælstof, var det alligevel Kardal, Kuras, Producent og Oleva, der fjernede mest kvælstof fra marken, pga. højere udbytte end i de tidlige sorter. Det er alt andet lige en fordel for miljøet, at udnyttelsesprocenten af kvælstof er så høj som mulig."*

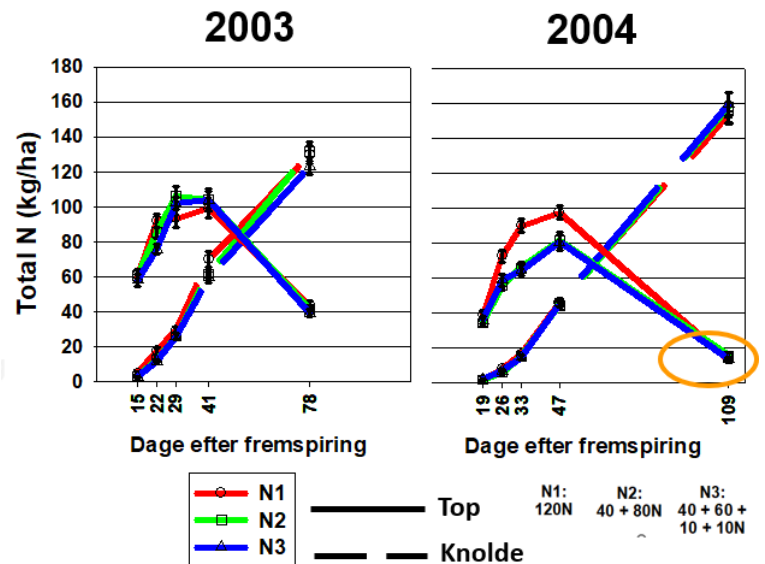
Samlet peger figurene på, at en længere vækstsæson og øget sildighed i moderne kartoffelsorter kan bidrage til et mere langstrakt kvælstofoptag i afgrøden. Dette kan reducere risikoen for, at kvælstof forekommer i større mængder som uorganisk N i jorden sent i vækstsæsonen og dermed potentielt mindske risikoen for udvaskning.

Betydning af optagetidspunkt for kvælstof i top

Samme forsøg fra Statens Planteavlsvforsøg (beretning nr. 1925, *Optagningstid og kvælstofgødskning i kartoffelsorter, 1988*) viser, at kartoflers kvælstofoptag i top ændres og allokeres væsentligt over vækstsæsonen. Ved høst den 15. juli var kvælstofindholdet i kartoffeltoppen i gennemsnit 86, 117 og 143 kg N pr. ha ved gødningsniveauerne 100, 200 og 300 kg N pr. ha. Ved optagning 15. august var kvælstofindholdet reduceret til 37, 48 og 85 kg N pr. ha, svarende til et fald på ca. 49, 69 og 58 kg N pr. ha. Reduktionen viser, at en betydelig del af bladkvælstoffet er omfordelt eller fjernet fra midten af juli til midten af august, og at mængden af kvælstof tilbage i toppen – og dermed grundlaget for mineralisering og potentiel udvaskning efter høst – aftager markant ved et senere høsttidspunkt.

Forsøg gennemført af Danmarks Jordbrugsforskning i 2003 og 2004 giver direkte målinger af kvælstof i top og knolde over tid for spisesorten, Folva, dyrket på sandjord (JB 1). Disse forsøg viser, at kvælstofindholdet i toppen stiger frem mod midten af vækstsæsonen i spisekartofler og når niveauer på omkring 80-105 kg N pr. ha ca. 22-47 dage efter fremspiring. Herefter reduceres kvælstofindholdet i toppen markant i den sene del af vækstsæsonen, til omkring 40 kg N pr. ha ved ca. 78 dage efter fremspiring (2003) og videre til omkring 10-20 kg N pr. ha ved ca. 109 dage efter fremspiring (2004). Samtidig ses en kraftig stigning i kvælstofindholdet i knoldene, som i samme periode øges til omkring 120-160 kg N pr. ha, hvilket dokumenterer en omfattende omfordeling af kvælstof fra top til knolde sent i vækstforløbet. Se figur 4.

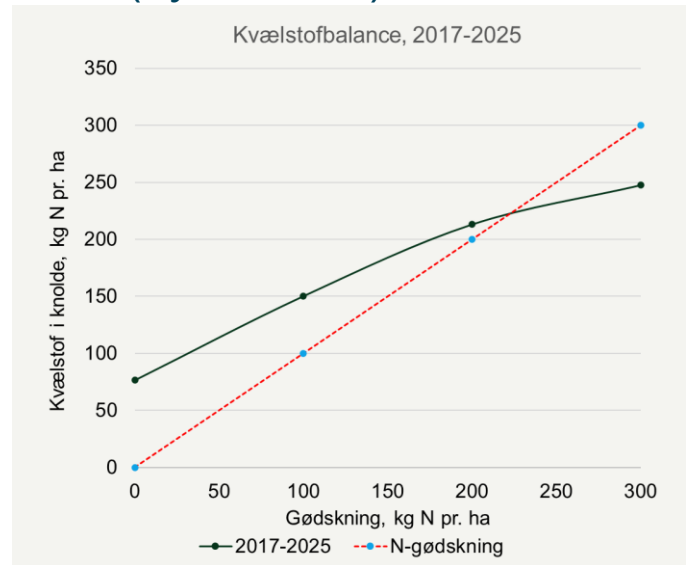
Selvom der ikke foreligger direkte målinger af kvælstof i kartoffeltoppen ved vækstsæsonens afslutning i nyere forsøg (f.eks. omkring oktober/november i sildige sorter), peger både resultater fra Statens Planteavlsvforsøg (1984-1986) og forsøg fra Danmarks Jordbrugsforskning (2003-2004) på, at vækstsæsonens længde og tidspunktet for afmodning har stor betydning for, hvor meget kvælstof der er tilbage i toppen ved høst. Da hovedparten af kartoffelarealet i nyere tid høstes ved fuld afmodning, vurderes det, at mængden af organisk kvælstof i toppen ved høst er begrænset og derfor ikke formodes at udgøre et væsentligt grundlag for kvælstofudvaskning efter høst.



Figur 4: Udvikling i kvælstofoptag i top og knolde i sorten Folva på JB1 i 2003 og 2004. Figuren er modificeret efter en figur fra en PowerPoint-præsentation af Poul Erik Lærke, Danmarks Jordbrugsforskning, Fou-lum.

Kvælstofbalance og N-min efter høst (nyere data)

Figur 5 viser sammenhængen mellem kvælstofgødskning og kvælstofoptag i kartoffelknolde ved gødningsniveauerne 0, 100, 200 og 300 kg N pr. ha. Kvælstofoptaget er beregnet som en middelværdi for perioden 2017–2025, hvor 10 sorter er repræsenteret i hvert forsøgsår. Ved lave gødningsniveauer ses et markant større kvælstofoptag i knoldene end den tilførte mængde, hvilket indikerer, at kartoflerne i høj grad udnytter jordens naturlige kvælstofpulje. Ved 100 og 200 kg N pr. ha er der fortsat et betydeligt nettooptag af kvælstof, og afgrøden responderer på øget gødskning. Først ved et gødningsniveau omkring 220-230 kg N pr. ha ses et skifte, hvor kvælstoftilførslen overstiger kvælstofoptaget i knoldene. Ved 300 kg N pr. ha er kvælstofbalancen således negativ (-52,4 kg N pr. ha), hvilket indikerer et overskud af kvælstof i systemet. Resultaterne peger på, at kartofler har en høj kvælstofudnyttelse ved gødningsniveauer op til 220-230 kg N, men at yderligere tilførsel, op til 300 kg N, giver en aftagende stigning i kvælstofoptag. En gødningsstrategi over kvælstofoptimum vil derfor øge risikoen for kvælstoftab.

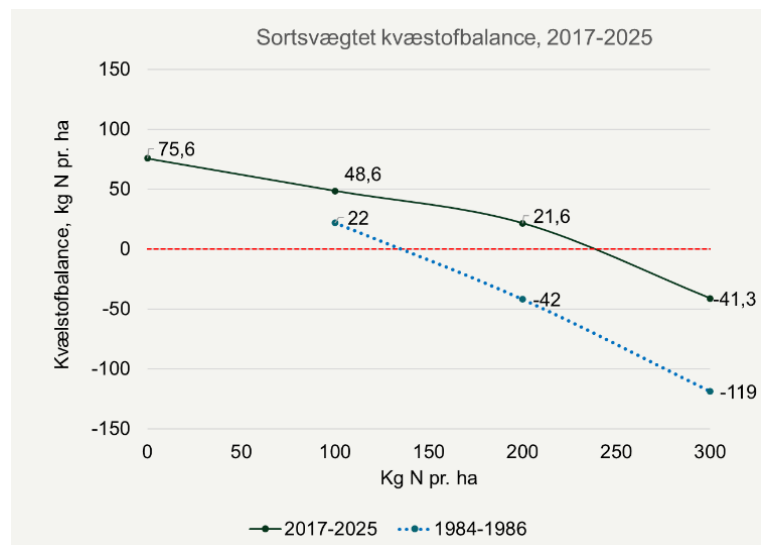


Figur 5: Sammenhæng mellem tilført kvælstof og kvælstofoptag i kartoffelknolde baseret på sortsforsøg fra 2017-2025 i Arnborg. Den fuldt optrukne linje viser målt kvælstofoptag i knolde, mens den røde stiplede linje angiver tilført kvælstof.

Kvælstofbalance ved anvendelse af vægtet sortsanvendelse øger kvælstofudnyttelsen

Data i figur 5 er baseret på en middelværdi af alle sorter fra 2017-2025. Laves der en vægtet beregning ud fra sortsfordelingen i tabel 1 øges kvælstofudnyttelsen en anelse til en kvælstofbalance på nul ved et gødningsniveau på omkring 240 kg N pr. ha (grøn fuldt optrykket linje i figur 6). I figur 6 er kvælstofbalancen udregnet som tilført kvælstof (gødskning) fratrukket optaget kvælstof i knoldene.

Indsættes data fra forsøgene gennemført ved Statens Planteavlsvforsøg i perioden 1984–1986 (blå stiplede linje), som ikke er sortsvægtede, ses en væsentligt lavere kvælstofudnyttelse og en kvælstofbalance på nul ved et gødningsniveau på omkring 135 kg N pr. ha mod 240 kg N i perioden 2017-2025. Forskellen mellem perioderne kan ikke entydigt tilskrives sorterne alene, idet forhold som forskellig forfrugtsværdi og varierende klimatiske betingelser også kan have haft betydning. Tendensen er dog klar: De sorter, der har været anvendt i perioden 2017-2025, udviser en højere kvælstofudnyttelse sammenlignet med sorter som Bintje, Posmo, Senator og Daniella, der indgik i forsøgene fra 1984-1986.



Figur 6: Kvælstofbalance i kartofler ved stigende kvælstoftilførsel, sammenlignet mellem perioden 2017–2025 (sortsvægtet) og 1984–1986 (ikke sortsvægtet). Den fuldt optrukne linje viser nyere data, mens den stiplede linje viser ældre forsøgsdata.

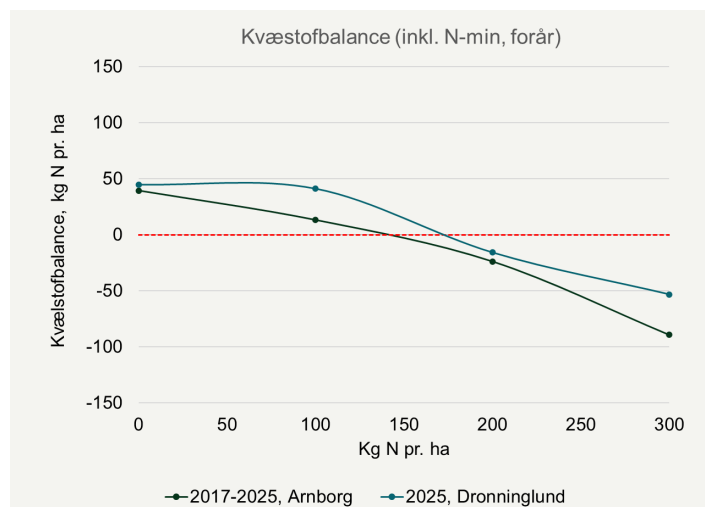
I 2025 er der, på tilsvarende måde som i forsøgene ved Arnborg i perioden 2017–2025, gennemført analyser af kvælstofoptag i knoldene for sorterne Kuras og Ardeche i Dronninglund på en bedre jord

(JB 2). Tendensen er den samme, idet en kvælstofbalance omkring nul opnås ved et gødningsniveau på ca. 240 kg N pr. ha for begge sorter (figur ikke vist).

Fratrækkes N-min målt i foråret, ses der fortsat en høj kvælstofudnyttelse

I alle ovenstående nyere forsøg er der for hvert forsøgsår udtaget en N-min måling før etablering af forsøget. N-min estimerer mængden af plantetilgængeligt kvælstof i jorden før lægning og kan derfor – med betydelig usikkerhed – anvendes som et mål for den plantetilgængelige kvælstofpulje i foråret før lægning. Under denne antagelse kan den totale mineraliserede kvælstofpulje ved lægning beskrives, som summen af N-min + N tilførelsen. På den baggrund er der i figur 7 foretaget følgende beregning: N-knolde (kvælstofoptag i knolde) - N-min (forår) – N-gødsning.

Ved et kvælstofniveau svarende til normen på 229 kg N pr. ha beregnes et teoretisk potentielt overskud på ca. 41 kg N pr. ha i Arnborg og ca. 23 kg N pr. ha i Dronninglund. Såfremt udvaskningen fra dyrkning af stivelseskartofler skulle følge beregningerne i NUAR-modellen, forudsætter det en meget høj netto-mineralisering fra jordens organiske pulje. Dette indikerer, at NUAR-modellen for kartofler under moderne dyrkningsforhold kan overvurdere det faktiske udvaskningspotentiale betydeligt.



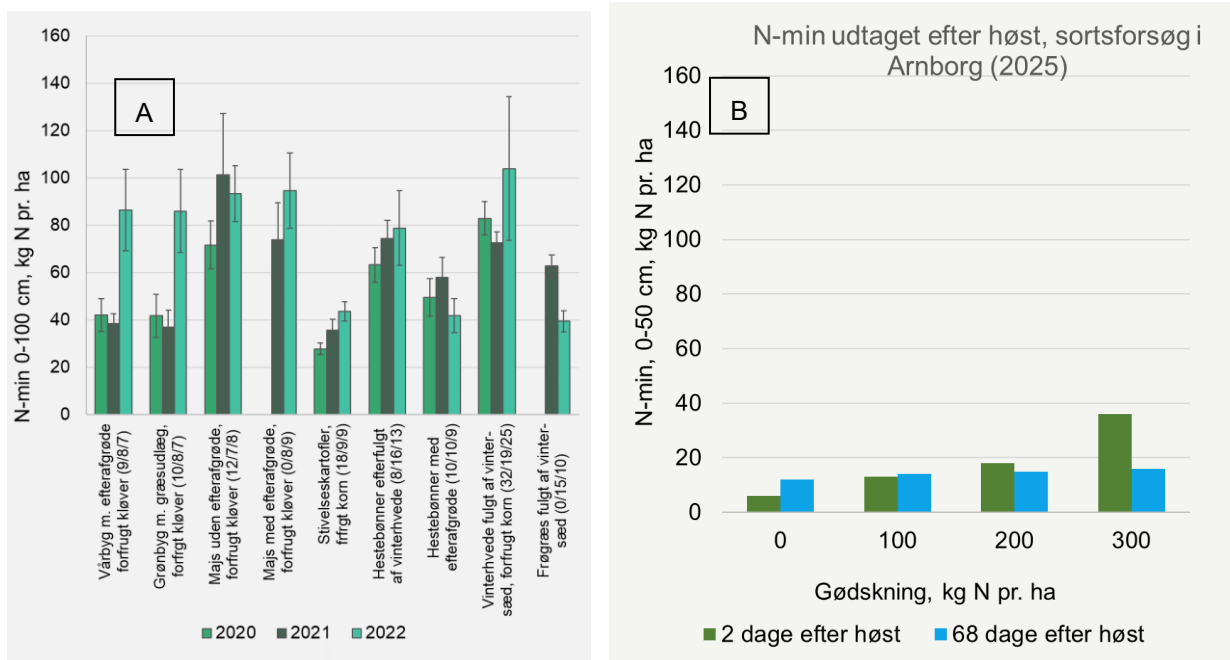
Figur 7: Beregnet kvælstofbalance ved stigende kvælstoftilførelse, hvor N-min målt i foråret er medregnet. Resultater fra Arnborg (2017–2025) og Dronninglund (2025). Den røde stiplede linje angiver nul-balance.

N-min målt efter høst – indikation af risiko for efterårsudvaskning

I LessN-projektet er der udtaget N-min i forskellige afgrøder efter høst. Der antages at være en nogenlunde sammenhæng mellem N-min målt efter høst og efterårsudvaskning af nitrat. I årene 2020, 2021 og 2022 er der udtaget henholdsvis 18, 9 og 9 jordprøver fra marker med stivelseskartofler, hvilket samlet giver et gennemsnitligt N-min på 34 kg N pr. ha. Som det fremgår af figur 8A, ligger N-min målt efter høst i stivelseskartofler generelt på et lavt niveau sammenlignet med andre afgrøder.

I 2025 er der i sortsforsøget i Arnborg ligeledes udtaget N-min to og 68 dage efter høst (figur 8B). For hvert gødningsniveau består N-min af 40 stik udtaget i de respektive 10 sorter i fire gentagelser. N-min målt to dage efter høst ligger på et sammenligneligt lavt niveau og er beregnet til ca. 26 kg N pr. ha ved en N-norm på 229 kg N pr. ha. Der ses en tydelig og stærk stigning i N-min ved gødningsniveauer fra 200 til 300 kg N pr. ha, hvilket er en forventelig effekt af overgødsning.

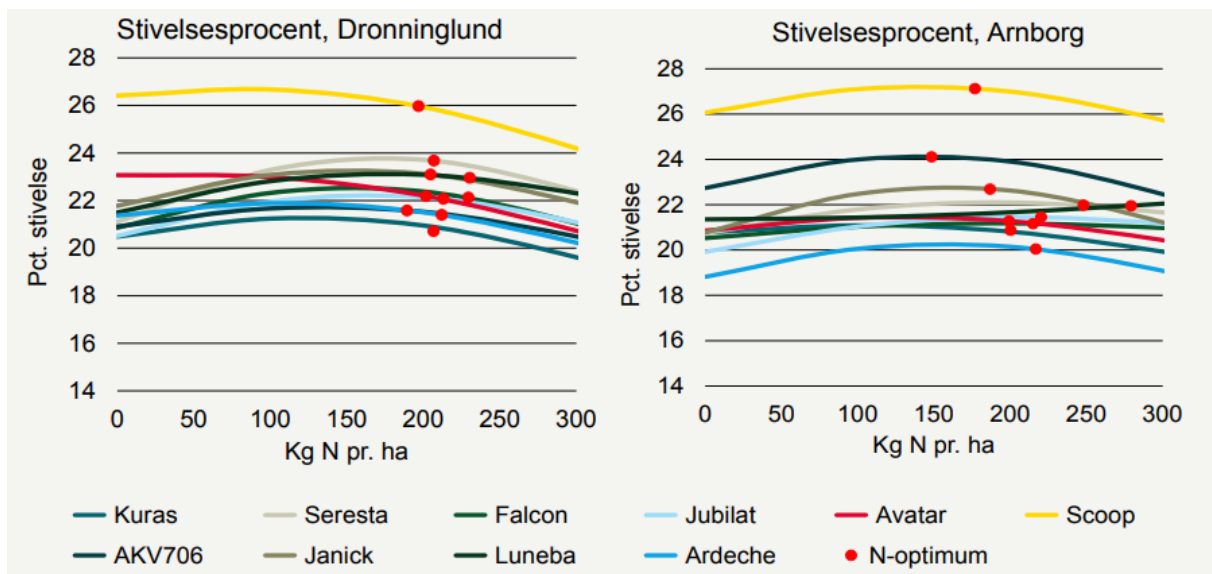
N-min niveauet er stort set ens 68 dage efter høst er på tværs af alle kvælstofniveauer, hvilket indikerer, at der på dette tidspunkt er opnået en balance, uafhængigt af kvælstofgødskningen før lægning. Tidspunktet 68 dage efter høst er formentlig lidt sent til at vurdere eventuel øget mineralisering som følge af jordbearbejdning ved høst, hvis der i denne periode har været en væsentlig afstrømning og dermed udvaskning fra rodzonen. Det må antages, at det observerede fald på ca. 20 kg N pr. ha mellem første og anden måling ved et gødningsniveau på 300 kg N pr. ha, skyldes udvaskning. Det er dog ikke muligt at kvantificere udvaskningen, fordi der samtidig er sket en mineralisering fra jordpuljen.



Figur 8: N-min målt efter høst i kartofler. A) Sammenligning af N-min (0–100 cm) efter høst i forskellige afgrøder baseret på data fra LessN-projektet (2020–2022). B) N-min (0–50 cm) målt i sortsforsøg i Arnborg (2025) ved forskellige gødningsniveauer, udtaget to og 68 dage efter høst.

Udvikling i præcisionsgødsning

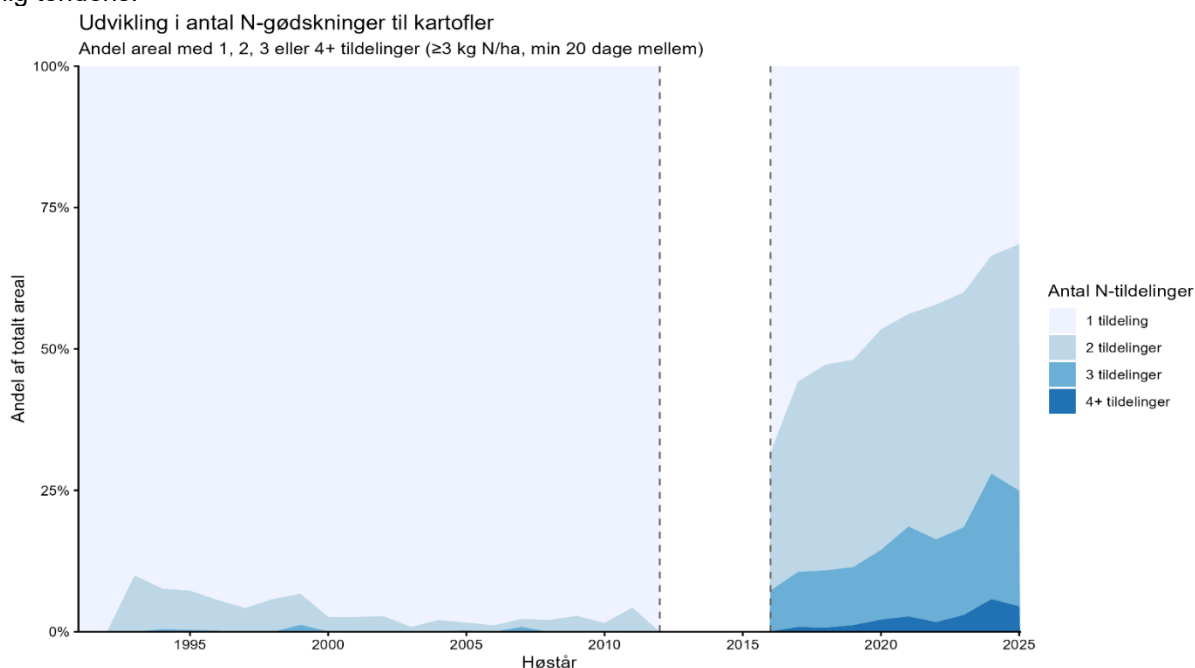
Sideløbende med ændringer i sortsanvendelse og sildighed har der siden 1990'erne været en betydelig udvikling i anvendelsen af præcisionsgødsning i dansk kartoffeldyrkning. Hvor gødsningen tidligere i høj grad var baseret på én bredspredning før lægning, er der i dag større fokus på at tilpasse både placering, timing og mængde af næringsstoffer til kartofflens vækst og behov. Det er velkendt, at overgødsning fører til en betragtelig nedgang i stivelsesprocent og stivelsesudbytte – det kan sammenlignes med maltbyg, hvor overgødsning med kvælstof øger proteinniveauet og øger risikoen for, at byggen ikke kan bruges til malt. Derfor er der i høj grad fokus på at undgå overgødsning ved dyrkning af stivelskartofler. Se figur 9.



Figur 9: Stivelsesprocent i ti sorter af stivelskartofler på de to lokaliteter Dronninglund og Arnborg i 2025 ved stigende mængder kvælstof. Kurven er et tilpasset andengradspolynomium. Den røde dot markerer den økonomisk optimale kvælstofmængde til sorten. Landsforsøgene 2025, side 301.

Øget anvendelse af delt kvælstofgødskning ti stivelseskartofler

Denne udvikling med øget fokus på præcisionsgødskning afspejles også tydeligt i den faktiske anvendelse af delt kvælstofgødskning i kartofler. Som det fremgår af figur 10, blev langt størstedelen af kartoffelarealet frem til omkring 2010 gødsket med én samlet kvælstoftildeling, mens anvendelsen af to eller flere tildelinger var meget begrænset. Fra midten af 2010'erne ses der imidlertid en markant stigning i andelen af arealet, hvor kvælstoffet tildes i flere delte gødskninger. I de seneste år udgør delt gødskning dermed en væsentlig del af praksis i kartoffeldyrkningen. Udviklingen er i tråd med ønsket om at undgå overgødskning, sikre høj stivelsesprocent og udnytte kartofflens kvælstofoptag gennem vækstsæsonen, særligt i stivelseskartofler med lang vækstperiode. Data i figur 10 er behæftet med en vis usikkerhed, idet de er baseret på planlagte og ikke udførte behandlinger registreret i Mark Online. Den store datamængde forventes imidlertid at reducere den samlede usikkerhed og peger på en tydelig tendens.



Figur 10: Udvikling i anvendelsen af delt kvælstofgødskning i kartofler, opgjort som andel af det samlede kartoffelareal med henholdsvis 1, 2, 3 eller 4+ kvælstoftildelinger pr. vækstsæson (krav for tildelingsregistrering = ≥ 3 kg N pr. ha pr. tildeling og minimum 20 dage mellem tildelinger). Data fra 2013-2016 mangler i Dansk Markdatabase.

Samtidig med den markante stigning i anvendelsen af delt gødskning er brugen af Horiba-målinger (måling af nitratindhold i stængler) i praksis også øget. I samspil med delt gødskning giver Horiba-målinger mulighed for løbende at vurdere behovet for en eventuel anden kvælstoftildeling. I 2024 monitorerede AKV Langholt i alt 176 marker, hvoraf 140 marker ikke blev tildelt den ellers planlagte anden gødskning på 20-40 kg N pr. ha ca. 25 dage efter fuld fremspiring. Denne praksis vurderes at reducere risikoen for nitratudvaskning betydeligt, idet sandsynligheden for overgødskning mindskes markant.

Markspecifik (sort og jordtype) gødningsanbefaling

Kartoffelsorter varierer i deres økonomisk optimale kvælstofniveau, hvorfor kendskab til både jordtype og sort har stor betydning for det valgte gødningsniveau. Dette har medført et øget fokus på at tilpasse kvælstoftildelingen til de enkelte sorter, frem for at anvende én generel anbefaling. Som følge heraf er der i mange år blevet gennemført et omfattende forsøgsarbejde, hvor de økonomisk optimale kvælstofmængder fastlægges for de enkelte sorter og jordtyper. Resultaterne herfra danner grundlag for rådgivning i praksis og bidrager til en mere præcis gødskning, hvor risikoen for overgødskning reduceres uden at gå på kompromis med udbytte og stivelsesindhold. Se side 299-304 i Landsforsøgene 2025.

Placering af kvælstof ved lægning

Et andet element i udviklingen mod mere præcis gødskning er placering af kvælstof i forbindelse med lægning, som i stigende grad er muligt med de nye og mere moderne kartoffellæggere. Ved at placere kvælstof i to strenge tættere på læggekartofflen og kartofflernes rodzone tidligt efter vækststart kan tilgængeligheden i den første del af vækstperioden forbedres. Der forventes en større anvendelse af placeret gødskning ved lægning, men det er usikkert, i hvilket omfang placeret kvælstof anvendes i praksis, og om der samlet set har været en stigning i anvendelsen over tid. Placering bør derfor primært ses som et led i den generelle bevægelse mod mere målrettet og behovstilpasset kvælstoftildeling, snarere end som en entydigt dokumenteret ændring i gødningspraksis.

Udvaskningsrisiko ved dyrkning af kartofler

Selvom resultaterne i dette notat samlet set peger på en bedre kvælstofudnyttelse i moderne kartoffel dyrkning, er der fortsat nogle forhold, som er værd at være opmærksom på i relation til risikoen for udvaskning af kvælstof ved dyrkning af kartofler. For det første er der begrænset viden om **forårsudvaskning i kartofler**, og dette må derfor betragtes som en reel risikofaktor, særligt på lette jorder og i år med høj nedbør i forårsperioden. Kartofler forventes generelt at have et relativt sent kvælstofoptag, dog tidligere end majs. Kartofler er samtidig en højværdiafgrøde, hvor gødskning ofte prioriteres umiddelbart før eller i forbindelse med lægning for at sikre en stabil kvælstofforsyning. I praksis observeres der ofte en hurtig fremspiring. I den sammenhæng bør delt gødskning og anvendelse af nitrifikationshæmmere undersøges nærmere som mulige virkemidler til at reducere risikoen for forårsudvaskning. **Vanding** er ligeledes et relevant opmærksomhedspunkt. I praksis er vandingsstrategien dog ændret markant over tid, idet der i dag typisk vandes oftere og med mindre vandmængder, og hvor der i højere grad anvendes vandingsregnskaber. Den tidligere udbredte "skurvanding" i spisekartofler, hvor der blev tilført en stor vandmængde tidligt på sæsonen for at reducere risikoen for almindelig skurv, anvendes ikke i stivelseskartofler. Samlet vurderes vanding derfor ikke at være den væsentligste risikofaktor ved dyrkning af moderne kartoffelsorter. Endelig kan **mekanisk jordbearbejdning**, herunder stenstrenglægning og selve optagningen, påvirke omsætningen af kvælstof i jorden. Jordbearbejdningen kan øge iltning og mineralisering, men den faktiske betydning for udvaskning er vanskelig at kvantificere og afhænger i høj grad af forfrugt, jordtype, tidspunkt samt de efterfølgende vejrforhold. Dette vurderes derfor som et relevant opmærksomhedspunkt, der bør belyses nærmere i fremtidige forsøg.

Samlet set peger disse forhold på, at der fortsat er behov for opmærksomhed omkring især forårsperioden og jordbearbejdning – også selvom udvaskningsrisikoen generelt vurderes at være blevet væsentligt lavere som følge af ændret gødskningspraksis (delt gødskning og præcisionsgødskning), nye kvælstofeffektive sorter og forbedret dyrkningsteknik.

Bilag

Bilag 1:

Tabel 5 fra Statens Planteavlsvforsøg, beretning nr. 1925, *Optagningstid og kvælstofgødskning i kartoffelsorter, 1988*

Tabel 5. Knolde og top, kg N pr. ha.
Tubers and top, kg N per ha.

Dato for optagning <i>Harvest date</i>	100 N			200 N			300 N		
	15/7	15/8	1/10	15/7	15/8	1/10	15/7	15/8	1/10
Knolde, tubers									
Bintje	67	111	118	77	153	166	87	175	198
Posmo	53	105	116	60	130	150	62	146	174
Senator	47	90	131	52	118	168	53	126	181
Dianella	39	77	121	40	85	146	38	83	170
Gns., fire forsøg <i>Average, four trials</i>	52	96	122	57	122	158	60	133	181
Top									
Bintje	60	31		87	35		117	54	
Posmo	96	30		114	46		152	90	
Senator	92	42		138	45		151	90	
Dianella	94	46		129	66		153	105	
Gns., to forsøg <i>Average, two trials</i>	86	37		117	48		143	85	

Bilag 2:

Tabel 11 fra rapporten "Kartoffelsorter til melproduktion 2000-02. Undersøgelser af kvælstofbehov, udbyttepotentiale og kvalitet" udarbejdet af Danmarks Jordbrugsforskning (Poul Erik Lærke m.fl.) i samarbejde med kartoffel erhvervet (KMC og AKV Langholt),

Tabel 11. Sortsforskelle i knoldenes koncentration og samlet optagelse af kvælstof på de to nedsprøjtningstidspunkter efter gødskning med lokalitetens normale kvælstofmængde (N=Y). Gennemsnit af 6 forsøg ved Tylstrup og Jydevad forsøgsstationer 2000-02.

Effect of cultivar on the concentration and accumulation of nitrogen in potato tubers at the two harvesting dates following fertilisation with N=Y. Mean of six experiments at Tylstrup and Jydevad experimental stations, 2000-02.

	1. september 1 st September		1. oktober 1 st October	
	N	N	N	N
	% af tørstof	kg pr. ha	% af tørstof	kg pr. ha
	N	N	N	N
	% dry matter	kg per ha	% dry matter	kg per ha
Artana	1,15	170	1,19	188
Canasta [#]	1,29	186	1,27	187
Dianella	1,04	163	1,07	182
Kardal [§]	1,11	182	1,16	207
Karnico [§]	1,07	163	1,00	178
Kuras	1,19	186	1,17	197
Oleva	1,24	194	1,27	198
LSD _{0,95}	0,08	13	0,08	13

[#] kun 02, only 02. [§] kun 00-01, only 00-01.

Bilag 3:

Notat sendt pr. mail den 15-12-2025 af Søren Kolind Hvid:

Beregnet kvælstofudvaskning i kartofler med NLES5 og NUAR-beregner

Udviklingen af NUAR-beregneren i 2023 (Eriksen et al., 2024) tog udgangspunkt i NLES5-modellen. Den primære opgave i forbindelse med udviklingen af NUAR-beregneren var at inkludere de virkemidler, der ikke indgår NLES5. Det gjaldt mellemafgrøder, tidlig såning af vintersæd og præcisionsjordbrug. Derudover var der ønske om at kunne differentiere effekten af efterafgrøder i forhold til tidspunktet for etableringen af efterafgrøderne (eller ud fra dato for høst af dæksæden). Disse virkemidler blev "bygget på" NLES5-modellen med relative effekter.

I forhold til en afgrødes effekt på kvælstofudvaskningen på en given lokalitet indgår der i NLES5 (og NUAR-beregneren) to hovedeffekter, nemlig en afgrødeeffekt og en kvælstofeffekt. Kvælstofeffekterne er parameteriseret ens for alle afgrøder, så det er de afgrødeparametre, der indgår i beregningen af afgrødeeffekten, der giver forskellene mellem forskellige afgrøders effekt på den beregnede udvaskning.

Afgrødeparametre

I det følgende er angivet de NLES5-afgrødeparametre, der anvendes ved udvaskningsberegninger for afgrødefølger, hvor kartofler indgår med og uden efterafgrøde. I NLES5 anvendes parameterværdier for 4 afgrødekategorier, nemlig 1) Hovedafgrøde, 2) Vinterplantedække efter hovedafgrøde, 3) Forfrugt og 4) Vinterplantedække efter forfrugt.

Hovedafgrøde

Kartofler som hovedafgrøde er i kategorien M8 sammen med majs.

Crop code		Estimate
Main crop		
M1	Winter cereal	0
M2	Spring cereal	-6.744
M3	Grain-legume mixtures	-7.279
M4	Grass or grass-clover	-13.493
M5	Grass for seed	-17.478
M6	Set-aside	-11.192
M7	Sugar beet, fodder beet	-0.640
M8	Silage maize and potato	3.534
M9	Winter oilseed rape	-7.319
M10	Winter cereal after grass	-1.248
M11	Maize after grass	19.524
M12	Spring cereal after grass	-6.229
M13	Grain legumes and spring oilseed rape	-2.866

Vinterplantedække efter hovedafgrøde

Kategori for vinterplantedække efter kartofler som hovedafgrøde er enten bar jord (W2) eller W4, hvis der er etableret en efterafgrøde. I NUAR-beregneren beregnes effekten af en efterafgrøde som en relativ effekt i forhold til en situation, hvor der ikke er en efterafgrøde. Til beregning af denne reference anvendes W2.

Winter vegetation cover		
W1	Winter cereal	0
W2	Bare soil	-2.055
W3	Autumn cultivation	-0.456
W4	Cover crops, undersown grass and set-aside	-15.959
W5	Weeds and volunteers	-3.792
W6	Grass and grass-clover	-14.596
W7	Winter cereal after grass	-1.049
W8	Grass ploughed late autumn or winter	-21.060

Forfrugt

Kartofler som forfrugt hører til kategori MP2, dog MP4 hvis forfrugten er græs eller kløvergræs.

Main previous crop		
MP1	Winter cereal	0
MP2	Other crops than winter cereals and grass or grass-clover	2.847
MP3	Grass or grass-clover	0.664
MP4	Spring or winter crops after grass or grass-clover	1.160

Vinterplantedække efter forfrugt

Kategori for vinterplantedække efter kartofler som forfrugt er enten bar jord efter majs og kartofler (WP7) eller WP4, hvis der var etableret en efterafgrøde efter kartoflerne i forfrugårret.

Winter previous crop		
WP1	Winter cereal	0
WP2	Bare soil	9.704
WP3	Grass-clover	10.601
WP4	Cover crops	9.354
WP5	Grass for seed and set aside	13.241
WP6	Beets and hemp	5.483
WP7	Bare soil after maize or potatoes	-1.572
WP8	Winter oilseed rape	7.413
WP9	Bare soil or winter cereal following grass-clover ploughed in spring	7.396
WP10	Bare soil or winter cereal following grass-clover ploughed in autumn	10.975

Udvaskningsberegninger for afgrødefølger med kartofler

I tabel 1-3 er vist, hvordan kartofler påvirker udvaskningsberegningen sammenlignet med vårbyg.

Kvælstofudvaskningen ved dyrkning af vårbyg efter vårbyg med tilførsel af 160 kg N pr. ha er beregnet til 70,6 kg N/ha. Ved dyrkning af stivelseskartofler efter vårbyg er udvaskningen beregnet til 124,3 kg N/ha, svarende til en stigning på 76 pct. Stivelseskartoflerne er gødsket med 229 kg N/ha. Ved reduktion af gødskningen til 160 kg N/ha, dvs. til samme niveau som ved dyrkning af vårbyg, beregnes udvaskningen til 111,3 kg N/ha. Det vil sige, at afgrødeeffekten alene øger udvaskningen med 40,7 kg N/ha svarende til en stigning på 58 pct. i forhold til vårbyg gødet med samme mængde kvælstof.

Beregningerne i tabel 1 viser også, at det først og fremmest er afgrødeeffekterne i NLES5, der øger den beregnede udvaskning efter kartofler i forhold til vårbyg.

Tabel 1. Afgrødeparametre og beregnet kvælstofudvaskning i afgrødefølger med vårbyg og kartofler (stivelse) uden efterafgrøder. Beregnet for vandet sandjord og middel netto-nedbør (DMI grid 10315).

	Afgrødefølge		
Forforfrugt	Vårbyg	Vårbyg	Vårbyg
Forfrugt	Vårbyg	Vårbyg	Kartofler
Hovedafgrøde i høstår	Vårbyg	Kartofler	Vårbyg
	Afgrødeparametre		
Forfrugt	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)
Vinterplantedække efter forfrugt	WP2 (9,702)	WP2 (9,702)	WP7 (-1,572)
Hovedafgrøde	M2 (-6,744)	M8 (3,534)	M2 (-6,744)
Vinterplantedk efter hovedafgrøde	W5 (-3,792)	W2 (-2,055)	W5 (-3,792)
Kvælstofudvaskning i høstår, kg N	70,6	124,3	45,3
Ændring i fht. vårbyg efter vårbyg	-	+76%	-36%
Udvaskning ved 160 kg N til kartofler		111,3	42,8
Ændring i fht. vårbyg efter vårbyg	-	+58%	-39%

Kartofler som forfrugt har en betydelig reducerende effekt på den beregnede kvælstofudvaskning i forhold til vårbyg som forfrugt. Ved samme gødskningsniveau i vårbyg og kartofler (160 kg N/ha) reduceres udvaskningen med 27,8 kg N svarende til 39 pct. Det skyldes, at kategorien for vinterplantedække efter forfrugten ændres fra WP2 (9,702) til WP7 (-1,572).

Det forekommer usandsynligt, at stivelseskartofler, der har en længere vækstsæson end vårbyg, ved samme gødskningsniveau øger den beregnede udvaskning som vist i tabel 1. Det forekommer også usandsynligt, at kartofler som forfrugt mindsker udvaskningen betydeligt i forhold til vårbyg som forfrugt og ved ens gødskning.

Tabel 2. Afgrødeparametre og beregnet kvælstofudvaskning i afgrødefølger med vårbyg med efterafgrøde og kartofler (160 kg N/ha) uden efterafgrøder. Beregnet for vandet sandjord og middel netto-nedbør (DMI grid 10315).

	Afgrødefølge		
Forforfrugt	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr
Forfrugt	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr	Kartofler
Hovedafgrøde i høstår	Vårbyg efterafgr	Kartofler	Vårbyg efterafgr
	Afgrødeparametre		
Forfrugt	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)
Vinterplantedække efter forfrugt	WP4 (9,354)	WP4 (9,354)	WP7 (-1,572)
Hovedafgrøde	M2 (-6,744)	M8 (3,534)	M2 (-6,744)
Vinterplantedk efter hovedafgrøde (NLES5 øverst og NUAR nederst)	W4 (-15,959) W5 (-3,792)	W2 (-2,055)	W4 (-15,959) W5 (-3,792)
Kvælstofudvaskning høstår, kg N	35,6	109,2	23,1
Ændring i fht. vårbyg m efterafgrøde	-	+307%	-35%

Tabel 3. Afgrødeparametre og beregnet kvælstofudvaskning i afgrødefølger med vårbyg og kartofler (160 kg N) med efterafgrøde. Beregnet for vandet sandjord og middel netto-nedbør (DMI grid 10315).

	Afgrødefølge		
Forfrugt	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr
Forfrugt	Vårbyg efterafgr	Vårbyg efterafgr	Kartofler efterafgr
Hovedafgrøde i høstår	Vårbyg efterafgr	Kartofler efterafgr	Vårbyg efterafgr
	Afgrødeparametre		
Forfrugt	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)	MP2 (2,847)
Vinterplantedække efter forfrugt	WP4 (9,354)	WP4 (9,354)	WP4 (9,354)
Hovedafgrøde	M2 (-6,744)	M8 (3,534)	M2 (-6,744)
Vinterplantedk efter hovedafgrøde	W5 (-3,792)	W2 (-2,055)	W5 (-3,792)
Kvælstofudvaskning høstår, kg N	35,6	57,4	25,5
Ændring i fht. vårbyg m efterafgrøde	-	+61%	-28%

Tabel 3 viser, at den beregnede udvaskning stiger betydeligt ved at skifte vårbyg med efterafgrøde ud med kartofler (spise) med efterafgrøde ved ens gødskningsniveau. Og kartofler (spise) med efterafgrøde som forfrugt reducerer udvaskningen betydeligt i forhold til vårbyg med efterafgrøde som forfrugt.

NLES5 er en statistisk model. På samme måde som for kartofler uden efterafgrøde forekommer fordelingen af udvaskningseffekten ved dyrkning af kartofler mellem en effekt i høståret og en effekt af kartofler som forfrugt svær at forstå.