



Kvælstoffrigørelse fra jord og kvælstofoptagelse i vinterhvede over 25 år

En analyse af forsøg med stigende kvælstof til vinterhvede 1990-2014 viser, at kvælstoffrigørelsen fra jord er faldet Promilleafigtsfonden for landbrug med 31 kg N, og marginaloptagelsen af kvælstof er steget fra 0,40 til 0,49 kg N pr. kg tilført kvælstof.

Resumé

I perioden fra 1990 til og med 2014 er kvælstoffrigørelsen fra jorden, der stilles til rådighed for vinterhvede, faldet med 34 kg kvælstof pr. ha. Samtidig er vinterhvedens evne til at udnytte tilført kvælstof steget fra en optagelse i kerne på 0,40 til 0,49 kg kvælstof pr. kg tilført kvælstof. Den samlede optagelse af kvælstof i kerne ved en tilførsel på 250 kg kvælstof pr. ha er steget fra 142 til 155 kg kvælstof pr. ha. Denne udvikling er beregnet ud fra en analyse af 489 forsøg med stigende mængde kvælstof til vinterhvede i perioden 1990-2014. Resultaterne viser, at hvis man vil vurdere udviklingen i kvælstoftab over en årrække, skal man både inkludere udviklingen i kvælstoffrigørelse fra jorden, den forbedrede kvælstofoptagelse og den større totale kvælstofoptagelse i kerne. Dyrkning af vinterhvede med en kvælstoftilførsel på 200 kg kvælstof pr. ha i f.eks. år 2000 og i 2015 vil ikke resultere i samme kvælstofudvaskning. Denne effekt er ikke eller kun delvist indeholdt i de empiriske udvaskningsfunktioner (N-les3 eller N-les4), der anvendes til at beregne udviklingen i udvaskningen af kvælstof. Det gælder f.eks. ved evaluering af betydningen af de initiativer, der er gennemført som følge af den tidligere regerings Grøn Vækst-udspil.

Indhold:

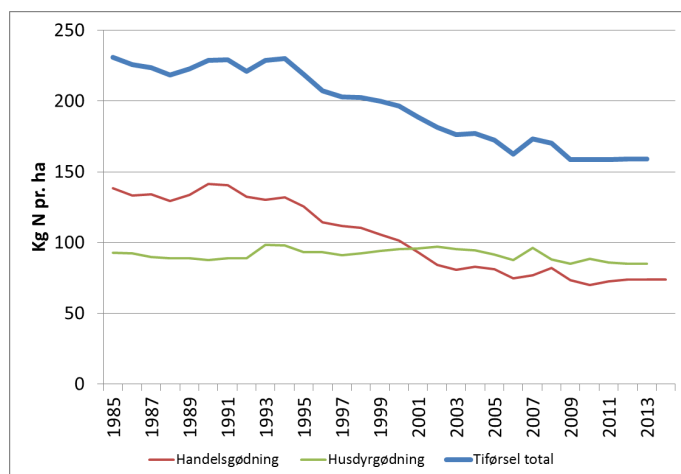
- [Baggrund](#)
- [Datagrundlag og repræsentativitet](#)
- [Kvælstoffrigørelse fra jorden](#)
- [Udviklingen i marginaloptagelsen af kvælstof](#)
- [Udvikling i den samlede optagelse af kvælstof i kerne](#)

Udviklingen i afgrødernes behov for kvælstof over tid kan forøges af en mindre kvælstoffrigørelse fra jorden på grund af en faldende kvælstoftilførsel i landbruget generelt samt af et større udbyttepotentiale på grund af mere højtydende sorter og bedre dyrkningsteknik. Behovet kan derimod påvirkes i nedadgående retning, hvis nyere sorter har en bedre kvælstofudnyttelse.

Med det formål at undersøge, hvordan kvælstoffrigørelsen fra jorden, marginaloptagelsen af kvælstof i vinterhvede, og hvordan den totale kvælstofoptagelse i vinterhvede har ændret sig over en periode på 25 år fra 1990 til 2014, er der gennemført en analyse af forsøg med stigende mængder kvælstof til vinterhvede i perioden.

Baggrund

Kvælstoftilførslen til afgrøderne er faldet markant i Dansk Landbrug siden 1980'erne. Figur 1 viser udviklingen i den totale tilførsel af kvælstof. Tilførslen af kvælstof er faldet fra 230 til 155 kg kvælstof pr. ha i perioden 1995 til 2009, hvor tilførslen har stabiliseret sig. Nettotilførslen af kvælstof (kvælstoftilførsel – kvælstofbortførsel) har i samme periode vist et fald fra et overskud på 150 kg kvælstof pr. ha til et overskud på 75 kg pr. ha¹). Faldet i nettotilførslen af kvælstof vil alt andet lige betyde en reduktion i kvælstofindholdet i dansk landbrugsjord og resultere i en mindre kvælstoffrigørelse fra jorden.



Figur 1. Udvikling i kvælstoftilførsel i Danmark fra 1985 til 2013. Kilde: Danmarks Statistik, Landovervågningsoplande 2012¹).

Nye sorter af vinterhvede forøger udbyttepotentialet. Den genetisk betingede udbytteforøgelse er i Petersen et. al. (2010) beregnet til 1,1 pct. i perioden 1980 til 2008 svarende til 0,8 hkg pr. ha pr. år²). Et højere udbytte vil andet lige øge kvælstofbehovet, men det kan blive modvirket af en bedre kvælstofudnyttelse i nyere sorter. En bedre kvælstofudnyttelse kan opnås som følge af en bedre udnyttelse af kvælstof fra jord og gødning (forøgelse af marginaloptagelsen), men også ved en bedre kvælstofudnyttelse i planten. Sidstnævnte vil give sig udslag i et højere udbytte, men lavere proteinprocent ved samme kvælstofoptagelse. En forøgelse af marginaloptagelsen i kerne kan også være sket ved en øget omlejring af kvælstof fra kerne til halm.

[Til top](#)

Datagrundlag og repræsentativitet

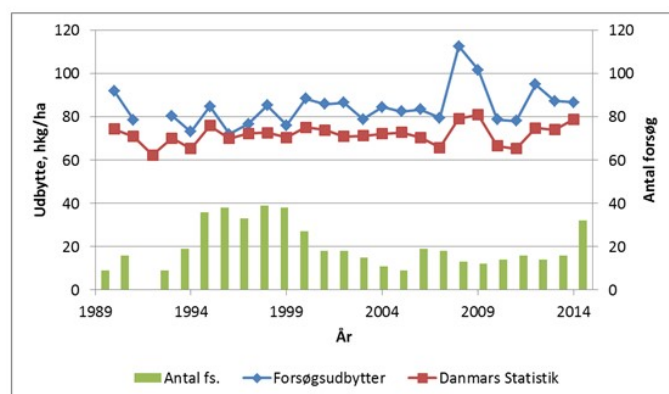
Udgangspunktet for analysen er et udtræk af alle forsøg i vinterhvede gennemført i regi af SEGES og indeholdt i Nordic Field Trials' database, der indeholder minimum 4 kvælstofniveauer til vinterhvede i perioden 1987 til 2014. Dette udtræk indeholder i alt 934 forsøg. Fra dette datasæt er udvalgt forsøg, der opfylder følgende betingelser: 6 kvælstofniveauer fra 0 til 250 kg N pr. ha i intervaller på 50, målt jordtype, målt N-min og målt udbytte og proteinindhold i hvert forsøgsløb. Derved reduceres antallet af forsøg til 504. Heraf er 15 forsøg udeladt på grund af højt N-min-indhold (over 170 kg N i rodzonen). Dataanalysen er således gennemført på 489 forsøg i alt.

Forsøgene er gennemført med 4 eller 5 gentagelser. Forsøgene er for langt hovedpartens vedkommende placeret i landmænds marker og behandlet

som de omgivende marker, bortset fra kvælstoftildeling. Hvor det er skønnet nødvendigt, er forsøgene grundgødet ekstra med andre næringsstoffer. Kvælstof er i langt hovedparten tilført i en svovlholdig kvælstofgødning, hvorfor svovlmængde er øget sammen med kvælstoftildelingen. Forsøgene er étårige, dvs. alle forsøgsled har samme dyrkningshistorie, der med hensyn til kvælstof svarer til normal gødsning i de foregående år. Kvælstof er i hovedparten af forsøgene tildelt ad to gange medio marts og medio april. Forsøgene er ikke tildelt husdyrgødning fra høst af forrige afgrøde til høst af forsøget. I årene forud er forsøgsarealet tildelt husdyrgødning som i den omkringliggende mark.

Der er ikke gennemført en analyse af, om der er sket en systematisk udvikling i placeringen af forsøgene på jordtyper eller i markernes dyrkningshistorie over tid. En analyse af forfrugten til vinterhvede viser, at forfrugten i 40-60 pct. af forsøgene i hovedparten af årene er korn. I enkelte år er andelen af korn som forfrugt betydeligt lavere (1990, 1991, 1993) eller højere (navnlig i perioden 1999-2006). Udbyttet ved den optimale kvælstoftilførsel (ikke korrigeret for protein) er sammenlignet med det gennemsnitlige udbytte i vinterhvede ifølge Danmarks Statistik. Dette er vist i figur 2, hvoraf også antallet af forsøg hvert år fremgår. Udbyttet i forsøgene er i gennemsnit 18 pct. højere i forsøgene end efter Danmarks Statistik. Der er en betydelig variation i dette forhold mellem årene. Der er en svag tendens til, at forskellen mellem forsøgsudbyttet og Danmarks Statistiks udbytte øges med årene. Det kan skyldes, at i forsøgene er udbyttet baseret på optimal gødsning, mens landmanden siden 1999 har skullet undergøde med 10-18 pct.

Den overordnede vurdering er, at datagrundlaget ikke er præget af en systematisk ændring af forsøgenes repræsentativitet over årene, og derfor er egnede til at belyse udviklingen i kvælstofforsyningen til vinterhvede over tid.



Figur 2. Udbytte i forsøg i vinterhvede sammenlignet med udbytte indberettet til Danmarks Statistik.

[Til top](#)

Kvælstoffrigørelse fra jorden

Kvælstoffrigørelsen fra jorden beregnes ved at beregne marginaloptagelsen af kvælstof ved tilførsel af stigende mængder kvælstof. Det antages derefter, at afgrøden udnytter kvælstof frigjort fra jorden i vækstsæsonen med samme udnyttelsesgrad som af handelsgødning. Derved kan frigørelsen af kvælstof fra jorden beregnes som:

$$N_{\text{jord}} = N_{\text{opt0N}} / N_{\text{marg}}$$

Hvor N_{jord} er frigørelsen af kvælstof fra jorden, som stilles til rådighed for afgrøden i vækstsæsonen inkl. N-min i rodzonen forår. N_{opt0N} er den målte kvælstofoptagelse i kerne i forsøgsleddet uden tilførsel af kvælstof. N_{marg} er marginaloptagelsen af kvælstof beregnet ved lineær regression ud fra det målte udbytte af kvælstof i kerne ved tilførsel af 0, 50 og 100 kg kvælstof pr. ha.

Ved en lav marginaloptagelse af kvælstof er usikkerheden på bestemmelse af N_{jord} stor. En lav marginaloptagelse kan skyldes en så stor kvælstoffrigørelse fra jorden, at planten er overforsynet med kvælstof, eller at andre forhold end kvælstof er begrænsede for optagelsen. For at håndtere denne usikkerhed er der sat en maksimal frigørelse af kvælstof fra jorden på 300 kg kvælstof pr. ha (23 forsøg ud af 489). Det er valgt ikke at ekskludere forsøgene, fordi netop disse forsøg har en stor frigørelse af kvælstof fra jorden. Tilsvarende er der sat en minimumfrigørelse af kvælstof fra jorden på 50 kg kvælstof pr. ha (15 ud af 489 forsøg).

Ved lineær regression er testet, om der er en systematisk udvikling i kvælstoffrigørelsen fra jord i perioden 1990-2014. Resultatet af den statistiske test er vist i tabel 1.

Tabel 1. Beregnet ændring i kvælstoffrigørelse fra jord

Parameter	Ændring i N _{jord} , Signifikans ¹⁾ 95 pct. konfidensinterval			
	kg N/år		Nedre	Øvre
Kvælstoffrigørelse	-1,37	**	-2,19	-0,55
fra jord				

1) “*” signifikant på 95 pct., “**” signifikant på 99, “***” signifikant på 99,9 pct. niveau.

Ændringen i kvælstoffrigørelse fra jorden er signifikant i perioden og viser et fald på 1,37 kg kvælstof pr. ha pr. år. Fra 1990 til 2014 periode viser beregningen, at kvælstoffrigørelsen fra jorden, som stilles til rådighed for afgrøden er faldet med 34 kg kvælstof pr. ha.

N-min indholdet, som udgør en del af kvælstoffrigivelsen fra jord, viser også et signifikant (***) fald fra 1990 til 2014. Faldet udgør 0,62 kg kvælstof pr. ha pr år, og faldet i N-min udgør derfor halvdelen af det samlede fald i frigørelsen af kvælstof fra jorden.

Den beregnede kvælstoffrigørelse fra jorden er i gennemsnit af de 489 forsøg beregnet til 134 kg kvælstof pr. ha med en spredning på 63 kg. Ud af de 134 kg N udgør indholdet af N-min i rodzonen 41 kg med en spredning på 22 kg kvælstof pr. ha.

N-min er i sig selv signifikant korreleret med udbytte af kvælstof i det ugødede forsøgsled (N_{opt0N}). Sammenhængen er, at $N_{opt0N} = 44,5 + 0,31 \cdot N$ -min roddebytte (sign.***). Marginaloptagelsen af kvælstof i handelsgødning fra 0-100 kg N er tilsvarende beregnet til 0,45 kg kvælstof pr. kg tilført kvælstof. Det kan tyde på, at afgrøden udnytter N-min i jorden lidt dårligere end handelsgødning.

Kvælstoffrigørelsen fra udtagning af N-min ultimo marts til ca. 1. juli, hvor kvælstofoptagelsen ophører, kan beregnes til 93 kg kvælstof pr. ha.

[Til top](#)

Udviklingen i marginaloptagelsen af kvælstof

Udviklingen i marginaloptagelsen af kvælstof i kerne er undersøgt med to metoder. Marginaloptagelsen ved tilførsel fra 0 til 100 kg kvælstof pr. ha er beregnet for hvert forsøg som beskrevet ovenfor. Udviklingen i marginaloptagelse over tid er derefter beregnet ved lineær regression. Resultatet af denne beregning (se tabel 2) viser, at der er sket en statistisk sikker stigning i marginaloptagelsen over årene. Udviklingen svarer til, at marginaloptagelsen er steget fra 0,40 i 1990 til 0,49 i 2014. Det svarer til, at mens 40 pct. af den tilførte kvælstofmængde (op til 100 kg N pr. ha) blev optaget i 1990, blev der tilsvarende optaget 49 pct. i 2014.

Tabel 2. Beregnet ændring i marginaloptagelsen af kvælstof (absolutte tal)

Parameter	Ændring i marginaloptagelsen, kg Signifikans 95 pct. konfidensinterval			
	N/kg tilført N pr. år		Nedre	Øvre
Marginaloptagelse	0,0035	***	0,0018	0,0052

I gennemsnit af hele perioden er der beregnet en marginal optagelse på 0,45 kg optaget N pr. kg tilført kvælstof med en standardafvigelse på 0,13.

Ved den anden metode er udviklingen i kvælstofoptagelsen ved hvert af de 6 kvælstofniveauer beregnet. Herudfra er efterfølgende ud fra resultatet af denne beregning beregnet kvælstofoptagelsen ved hvert kvælstofniveau for henholdsvis 1990 og 2014, hvorudfra marginaloptagelsen kan beregnes.

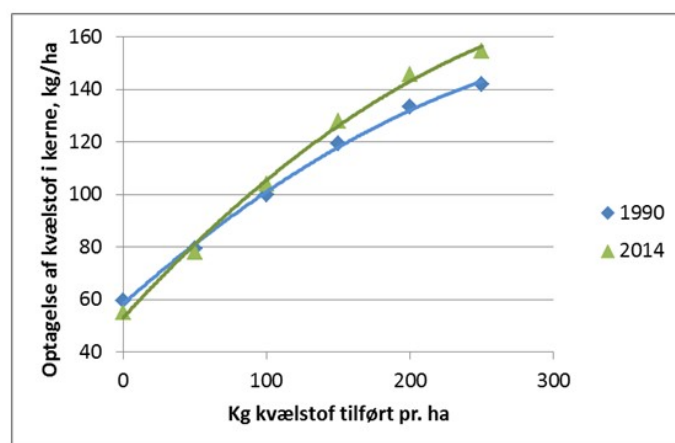
I tabel 3 er vist, hvordan kvælstofoptagelsen udvikler sig ved hvert af de 6 kvælstofniveauer.

Tabel 3. Udvikling i kvælstofoptagelse fra 1990 til 2014 ved 6 forskellige kvælstofniveauer.

N-niveau	Ændring i N udbytte. Signifikans på hældning		95 pct. konfidensinterval	
	Kg N/år		Nedre grænse	Øvre grænse
0 N	-0,18	ns	-0,46	0,09
50 N	-0,06	ns	-0,34	0,23
100 N	0,17	ns	-0,13	0,47
150 N	0,36	*	0,05	0,68
200 N	0,50	*	0,16	0,84
250 N	0,52	**	0,16	0,89

Ved 0 og 50 kg kvælstof pr. ha falder kvælstofoptagelsen over årene. Udviklingen er ikke signifikant. Ved 100 kg N og op til 250 kg kvælstof pr. ha stiger kvælstofoptagelsen. Fra 150 kg N er stigningen signifikant.

Udviklingen kan tolkes således, at der er to modsatrettede parametre, der påvirker kvælstofoptagelsen. Den faldende kvælstoffrigivelse til afgrøden fra jorden dominerer ved de lave kvælstoftilførsler, mens den stigende marginaloptagelse af kvælstof dominerer ved de høje kvælstoftilførsler. Ud fra parametrene i tabel 3 og skæringen (ikke vist) kan kvælstofoptagelsen ved de 6 kvælstofniveauer beregnes for 1990 og 2014. Resultatet af denne beregning er vist i figur 3.



Figur 3. Beregnede optagelseskurver for kvælstof i kerne i vinterhvede for 1990 og 2014.

Ud fra parameterværdierne kan udviklingen i marginaloptagelsen fra 0-100 kg N beregnes i 1990 og i 2014. Resultatet fremgår af tabel 4.

Tabel 4. Udvikling i marginaloptagelse beregnet ud fra udvikling i optagelse ved hvert kvælstofniveau.

	Marginaloptagelse kg N pr. kg tilført N	Optagelse ved 0 N, kg N/ha
1990	0,40	60
2014	0,49	55
Gns.data	0,44	57

Udviklingen i marginaloptagelsen bliver den samme beregnet ved de to metoder.

Stigningen i marginaloptagelsen i kerne kan udover en stigning i de samlede kvælstofoptagelse fra jorden også skyldes en øget omlejring af kvælstof fra halm til kerne over årene. I forsøgene er kun målt udbytte og kvælstofindhold i kerne.

[Til top](#)

Udvikling i den samlede optagelse af kvælstof i kerne

Ud fra de beregnede værdier for parametrene i tabel 3 og fra figur 3 fremgår det, at den samlede kvælstofoptagelse i kerne ved kvælstofniveauer over 50 kg kvælstof pr. ha er forøget i perioden 1990 til 2014. I tabel 4 er kvælstofoptagelsen ved de respektive kvælstoftilførsler beregnet for 1990, 2003, 2014, og der er foretaget en lineær fremskrivning til 2026.

Tabel 4. Beregnet kvælstofoptagelse i kerne ved forskellige kvælstofniveauer

Kg N tilført pr. ha	År			
	1990	2003	2014	2026
Kg N optaget i kerne				
0	59	57	55	53
50	79	79	78	77
100	100	102	104	106
150	119	124	128	132
200	133	140	146	152
250	142	149	155	161

Ved en tilførsel på 200 kg kvælstof pr. ha blev der i 1990 optaget 133 kg kvælstof i kerne, mens der tilsvarende i 2014 blev optaget 146 kg kvælstof pr. ha. Det betyder, at forskellen mellem tilført kvælstof og bortført kvælstof med kerne er reduceret fra 67 til 54 kg kvælstof pr. ha.

Kilde

¹⁾ Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. 2012. [Landovervågningsoplade 2011](#). NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 148 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 31

²⁾ Petersen, J., Haastrup, M., Knudsen, L. & Olesen, J.E. (2010): Causes of yield stagnation in winter wheat in Denmark, DJF Report PLANT SCIENCE NO. 147 • November 2010