

Omkostninger ved reduktion af udvaskningen ved reduktion af kvælstoftildelingen

Forfatter(e): Leif Knudsen og Henrik Vestergaard Poulsen

^a Landbrug og Fødevarer / SEGES

STØTTET AF

Promilleafgiftsfonden for landbrug

Sammendrag/konklusion

15 forsøg i korn med stigende mængder kvælstof og med måling af udvaskningen af kvælstof viser, at omkostningen til reduktion af kvælstofudvaskningen med 1 kg ved at reducere kvælstoftilførslen er 12, 25 og 55 kr. pr. kg ved en reduktion af kvælstoftilførslen med henholdsvis 10, 20 og 40 kg pr. ha.

SEGES har i perioden 2015-2019 gennemført 17 forsøg med stigende mængder kvælstof, hvor udvaskningen er målt med sugeceller. Ud fra de målte udbytter og udvaskninger er omkostningen ved at reducere kvælstofudvaskningen ved at reducere kvælstofudledningen beregnet for hvert enkelt forsøg. Resultatet er udtrykt som omkostningen pr. kg reduceret kvælstofudvaskning ved at reducere kvælstoftilførslen med 10, 20 og 40 kg kvælstof fra hvert forsøgs optimale kvælstofmængde. Desuden er marginalomkostningen beregnet, der udtrykker, hvad det koster pr. kg N i udvaskningsreduktion at reducere udvaskningen med 1 kg mere, når kvælstoftildelingen er reduceret med 10, 20 og 40 kg kvælstof pr. ha.

Forsøgene er gennemført med 15 forsøg i korn og 1 forsøg i henholdsvis vinterraps og sukkerroer. De er gennemført som fastliggende forsøg på 5 lokaliteter fordelt i landet og på jordtyper fra JB 1 til JB 7.

Resultatet af 15 forsøg i korn er vist i tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over omkostninger ved reduktion af kvælstofudvaskning beregnet ud fra resultater af 15 forsøg i korn 2015-2020. Beregningen er foretaget ved en vægtning af prisen for korn uden og med korrektion for værdien af protein.

	Antal forsøg	Udbytte ved optimum, hkg/ha	Optimal kvælstofmængde, kg N pr. ha	Udvaskning v. optimum, kg N pr. ha	Omkostning, kr. pr. kg N i reduceret N-udledning i gns. ved en reduktion i kvælstoftilførslen på:			Marginalomkostning, kr. pr. kg N i reduceret udvaskning ved en reduktion i N-tilførslen på:		
					10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha	10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha
Gns.	15	86,8	148	44	12	25	55	25	54	126
Minimum	15	50,8	56	17	2	5	12	5	11	28
Maks.	15	117,8	235	108	44	92	207	91	200	480

Omkostningen til reduktion af kvælstofudvaskningen stiger meget med reduktion i kvælstoftildelingen. Det skyldes et stigende udbyttetab og en relativt faldende effekt på udvaskningen ved stigende reduktion. Det opgjorte tab er lidt mindre end opgjort i beregninger foretaget i virkemiddelkataloget¹. Sammenholdes marginalomkostningen ved reduktion af kvælstofudvaskningen ved reduceret kvælstoftildeling med omkostninger til at reducere udvaskningen med efterafgrøder, kan udvaskningsreduktionen opnås billigere ved en reduktion af kvælstoftildelingen på 20-30 kg kvælstof pr. ha på 6-9 ha, hvilket giver samme reduktion i udvaskningen som 1 ha efterafgrøder. Forudsætningen er, at tabet ved efterafgrøder inklusive sædskifteændring er 2-3.000 kr. pr. ha.

Indledning

Hvis man ønsker at reducere kvælstofudledningen på den billigste måde, er det nødvendigt at kende omkostningen ved de enkelte tiltag, der kan anvendes til at reducere udledningen. I denne artikel er omkostningen ved at reducere kvælstofudvaskningen fra rodzonen ved at reducere kvælstoftildelingen analyseret. Grundlaget herfor er måling af udbytte, kvalitet og udvaskning i 17 landsforsøg i perioden.

Forsøgsgrundlag og metode

Hver af de 17 landsforsøg er gennemført som parcellforsøg med 4 gentagelser. Der indgår 4-6 kvælstofniveauer tildelt på tidspunkter i de enkelte afgrøder svarende til almindelig landbrugspraksis. I forsøgene er målt udbytte på parcellniveau og tørstof og proteinindhold på ledniveau. Udvaskningen er målt med keramiske sugeceller installeret i 100 cm's dybde. Der er udtaget vandprøver fra sugecellerne hver 14. dag i afstrømningssæsonen. Afstrømningen er beregnet med modellen Evacrop, og udvaskningen er beregnet ud fra modelleret afstrømning og målt nitratkoncentration i sugecellerne.

Kvælstofoptagelsen i afgrøden er for hvert forsøg for hvert forsøgsled er beregnet ud fra målt udbytte og proteinindhold. Kvælstofoptagelsen er modelleret herudfra ved et 2.grads polynomium, så optagelsen kan beregnes ved en vilkårlig kvælstoftildeling.

Fortjenesten er for hvert forsøg beregnet uden, med korrektion og med en vægtet korrektion af afregningsprisen for det målte proteinindhold for hvert forsøgsled. Ved den vægtede korrektion er forudsat, at 75 pct. af værdien af protein indregnes, hvilket svarer til de forudsætninger, at de lovpligtige kvælstofnormer er indstillet på. Prisforudsætningerne for afgrøder og kvælstofpris er identiske med de priser, der blev anvendt til indstilling af kvælstofnormer for 2020/21.

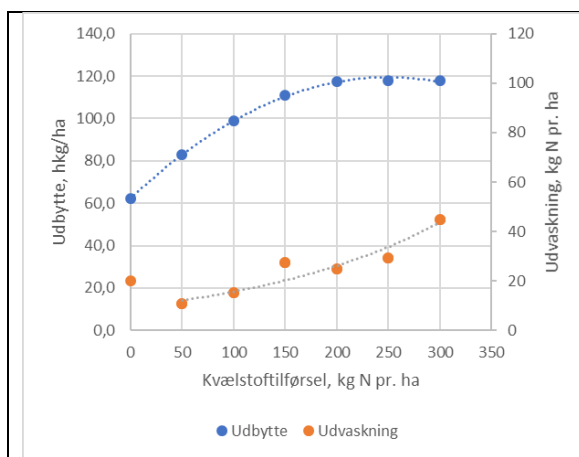
Forudsætningerne er vist i bilag 1. Fortjenesten er modelleret herfra med et 3. gradspolynomium. Den økonomisk optimale kvælstofmængde er for hver forsøg beregnet uden, med proteinkorrektion og

med en vægtet proteinkorrektion. Fortjenesten ved tilførsel af kvælstof er beregnet ved tildeling af den optimale kvælstofmængde og ved en tildeling på 10, 20 og 40 kg kvælstof under optimum. Udvaskningen er for hvert forsøg ud fra den beregnede udvaskning ved hvert kvælstofniveau modelleret med en eksponentialfunktion. Udvaskningen er i en række tilfælde den samme ved de laveste kvælstofniveauer. Derfor indgår de laveste N-niveauer i nogle forsøg efter en individuel vurdering ikke i regressionen. Ud fra modellen er udvaskningen beregnet ved den optimale kvælstofmængde henholdsvis uden, med og ved anvendelse af en vægtet proteinkorrektion. Udvaskningen er herefter beregnet ved 10, 20 og 40 kg kvælstof under den optimale kvælstofmængde. Desuden er marginalomkostningen beregnet ved tilførsel af den optimale kvælstofmængde.

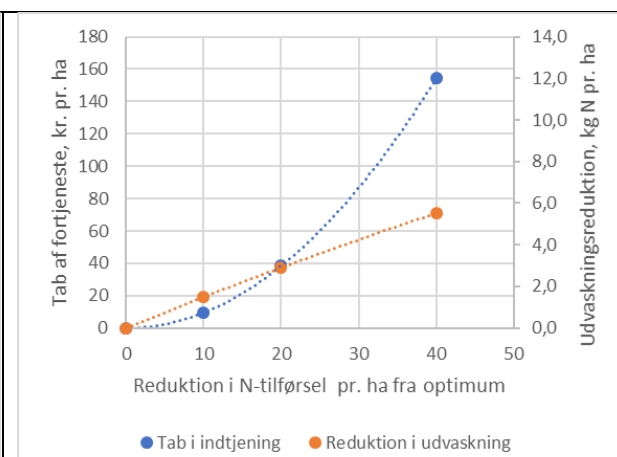
Omkostningen pr. kg reduceret kvælstofudvaskning er beregnet ved som tabet af fortjeneste ved at reducere kvælstoftildelingen henholdsvis 10, 20 og 40 kg kvælstof pr. ha under optimum divideret med reduktionen i udvaskning ved samme kvælstofreduktionen. Desuden er omkostningen ved at reducere kvælstofudledning ét kg mere beregnet for stigende reduktion i kvælstoftildelingen fra optimum.

Beregningsmetoden er illustreret for et udvalgt forsøg i figur 1.

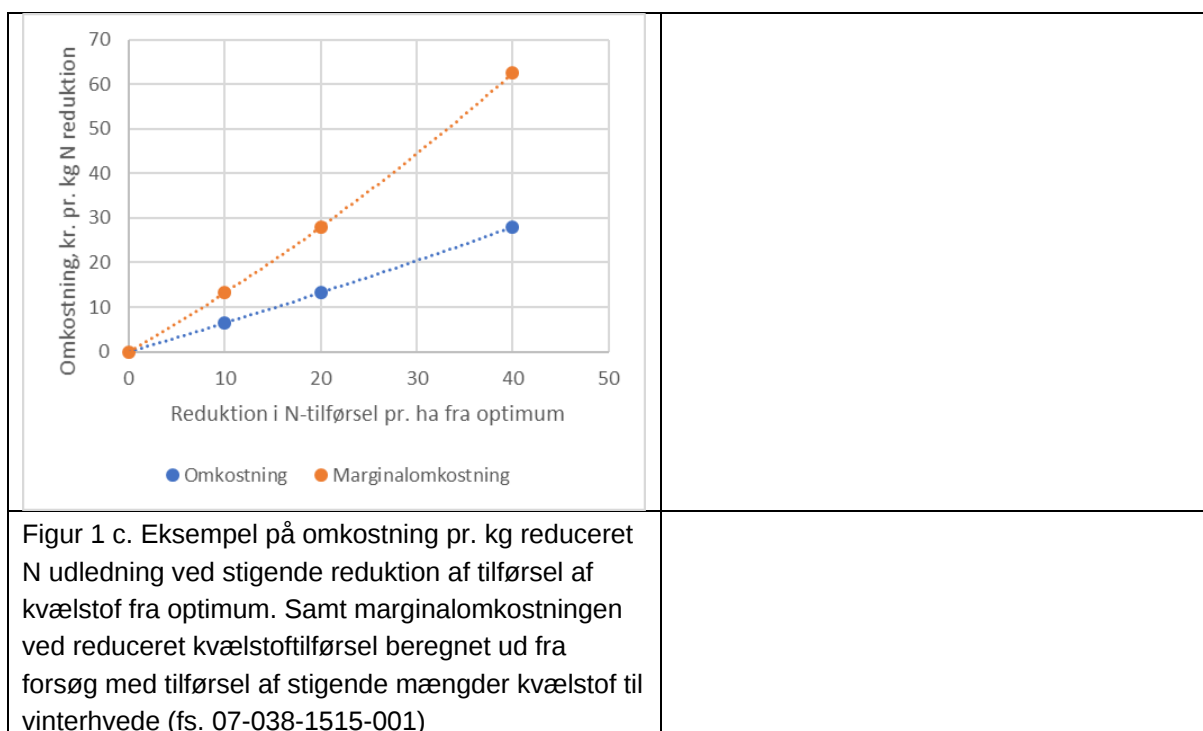
Den optimale kvælstofmængde i dette forsøg er beregnet til 225 kg kvælstof pr. ha ved anvendelse af en vægtet proteinpris. Udbyttekurven er i dette niveau forholdsvis flad, det vil sige, at udbyttetabet med en mindre reduktion i kvælstoftilførslen er beskedent. Udvaskningen forøges med 5-10 kg kvælstof pr. ha ved at øge tilførslen af kvælstof med 50 kg. Figur 1b viser, at indtjeningen i dette forsøg falder med 160 kr. pr. ha ved at reducere kvælstoftildelingen med 40 kg kvælstof pr. ha. Udvaskningen falder i niveauet 5 kg kvælstof pr. ha ved denne reduktion. Figur 1c viser, at omkostningen ved at reducere kvælstofudvaskningen med en reduktion fra 0 til 10 kg kvælstof under den optimale kvælstofmængde koster i gennemsnit 6 kr. pr. kg reduceret N-udvaskning. Hvis N-tilførslen reduceres 40 kg kvælstof pr. ha koster det tilsvarende 30 kr. pr. kg N i gennemsnit. Marginalomkostningen dvs. omkostningen ved at reducere udvaskningen af kvælstof med 1 kg stiger med stigende reduktion i kvælstoftildelingen. Ved en reduktion i tildelingen på 10 kg kvælstof pr. ha, vil det koste 13 kr. at reducere kvælstofudvaskningen 1 kg mere. Ved en reduktion i kvælstoftildelingen på 40 kg kvælstof pr. ha vil det koste 62 kr. at reducere kvælstofudledningen 1 kg mere.



Figur 1 a. Eksempel på udbytte og udvaskning ved tilførsel af stigende mængder kvælstof til vinterhvede (fs. 07-038-1515-001)



Figur 1 b. Eksempel på tab i indtjening og reduktion i udvaskning beregnet ud fra forsøg med tilførsel af stigende mængder kvælstof til vinterhvede (fs. 07-038-1515-001)



Forsøgsgrundlag

En oversigt over forsøgene opdelt på afgrøder, jordtyper og varighed. I alt er gennemført 17 forsøg, der er fordelt på 5 lokaliteter. De fleste af forsøgene er gennemført i korn, men 1 forsøg er gennemført henholdsvis i sukkerroer og vinterraps. I forhold til jordtypefordelingen i Danmark generelt er forsøg på JB 7 overrepræsenteret. Med varigheden menes, hvor mange år forsøget har været etableret før året med udvaskningsmåling. Ved en varighed på 1 år menes, at det er første år forsøgsbehandlingerne er foretaget. I forsøgene er behandlingerne fastliggende. En ugødet forsøgsparecel har f.eks. i 3. forsøgsår også været ugødet i de 2 foregående forsøgsår.

Tabel 1. Oversigt over forsøgsgrundlaget

Lokalitet	Afgrøder	Jordtyper	Varighed
Antal fs.	Antal fs.	Antal fs.	Antal fs.
Jyderup	Vårbyg	JB 1	1 år
3	2	5	4
Ringsted	Vinterhvede	JB 4	2 år
3	7	3	2
Holstebro	Vinterbyg	JB 6	3 år
5	1	5	5
Guldborg	Vinterrug	JB 7	4 år
4	4	4	3
Odder	Triticale		5 år
2	1		3
	Vinterraps		
	1		
	Sukkerroer		
	1		
I alt	17	17	17

Resultater og diskussion

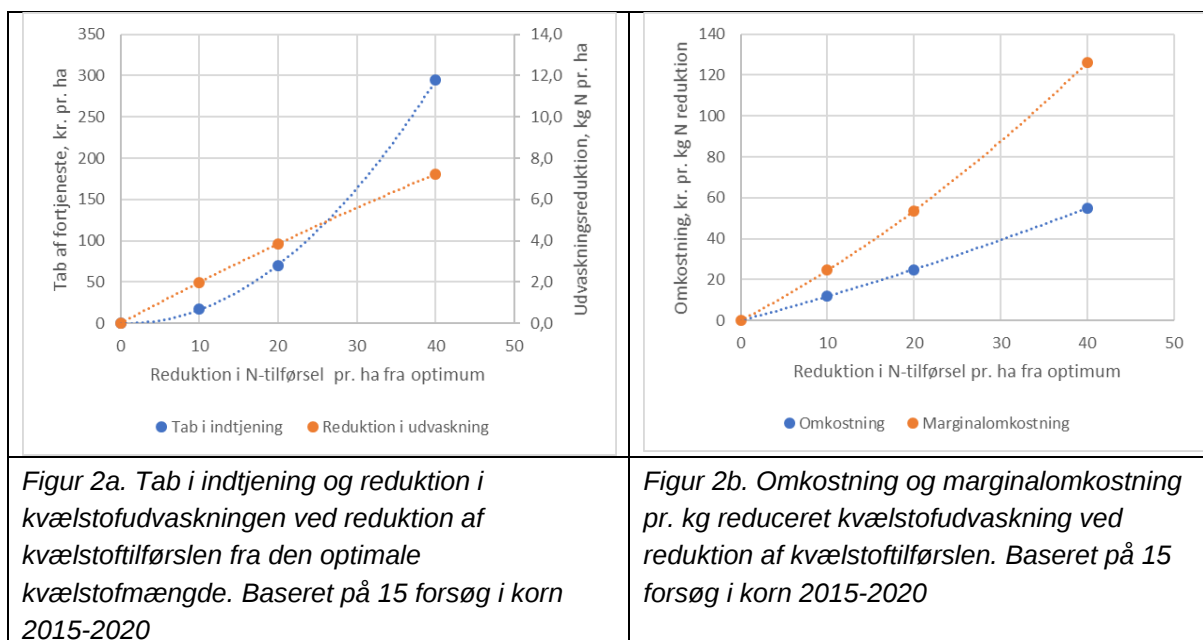
Omkostningen ved reduktion af kvælstofudvaskningen er beregnet til 12 kr. pr. kg N reduceret ved en reduktion i kvælstoftilførslen på 10 kg, mens omkostningen stiger til 55 kr. pr. kg ved en reduktion i kvælstoftilførslen på 40 kg pr. ha. Der er stor variation mellem de enkelte forsøg. Ved en reduktion i kvælstoftilførslen på 40 kg varierer omkostningen mellem 12 og 207 kr. pr. kg N i reduceret udvaskning.

Tabel 2. Oversigt over omkostninger ved reduktion af kvælstofudvaskning beregnet ud fra resultater af 15 forsøg i korn 2015-2020. Beregningen er foretaget ved en vægtning af prisen for korn uden og med korrektion for værdien af protein.

	Antal forsøg	Udbytte ved optimum, hkg/ha	Optimal kvælstofmængde, kg N pr. ha	Udvaskning v. optimum, kg N pr. ha	Omkostning, kr. pr. kg N i reduceret N-udledning i gns. ved en reduktion i kvælstoftilførslen på:			Marginalomkostning, kr. pr. kg N i reduceret udvaskning ved en reduktion i N-tilførslen på:		
					10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha	10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha
Gns.	15	86,8	148	44	12	25	55	25	54	126
Minimum	15	50,8	56	17	2	5	12	5	11	28
Maks.	15	117,8	235	108	44	92	207	91	200	480

Marginalomkostningen dvs. omkostningen ved at reducere udvaskningen med 1 kg kvælstof mere stiger fra 25 kr. ved en reduktion i kvælstoftilførslen på 10 kg op til 126 kr. pr. kg ved en reduktion i tilførslen på 40 kg.

Tabet af indtjening ved reduktion af kvælstoftilførslen stiger eksponentielt ved stigende reduktion af kvælstoftilførslen (se figur 2). I gennemsnit er indtjeningstabet beregnet til 295 kr. pr. ha ved en reduktion på 40 kg kvælstof. Tabet ved at reducere tildelingen med 1 kg kvælstof mere er ved en reduktion på 40 kg kvælstof pr. ha beregnet til 15 kr. pr. kg kvælstof. Reduktionen i kvælstofudvaskningen pr. kg kvælstof i reduceret tildeling er svagt aftagende med stigende reduktion af kvælstoftilførslen. I alt kan udvaskningen reduceres med 7,2 kg kvælstof pr. ha ved at reducere kvælstoftildelingen med 40 kg. Ved en reduktion på 10 kg falder udvaskningen med 2,0 kg kvælstof pr. ha. Det betyder, at den gennemsnitlige omkostning ved at reducere kvælstofudvaskningen stiger med en stigende reduktion i kvælstoftilførslen.



I tabel 3 er resultaterne vist opdelt for afgrøder, jordtyper og varighed af forsøget. Generelt er forsøgsgrundlaget for spinkelt til at udtale sig med sikkerhed om forskelle.

Tabel 3. Resultater opdelt efter afgrøde, jordtype og varighed af forsøget. Udgangspunktet er et proteinvægtet optimum

	Antal forsøg	Udbytte ved optimum, hkg/ha	Optimal kvælstofmængde, kg N pr. ha	Udvaskning v. optimum, kg N pr. ha	Omkostning, kr. pr. kg N i reduceret N-udledning i gns. ved en reduktion i kvælstoftilførslen på:			Marginalomkostning, kr. pr. kg N i reduceret udvaskning ved en reduktion i N-tilførslen på:		
					10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha	10 kg N pr. ha	20 kg N pr. ha	40 kg N pr. ha
Alle forsøg	15	118	148	44	12	25	55	25	54	126
<i>Afgrøder:</i>										
Vårbyg	2	73,7	134	39	11	23	50	23	49	110
Vinterhvede	7	94,1	172	43	12	25	54	24	53	123
Vinterbyg	1	77,4	123	40	8	18	39	17	38	88
Vinterrug	4	84,8	121	49	15	31	71	31	68	165
Triticale	1	79,1	138	48	6	13	28	13	27	64
Vinterraps	1	33,2	178	51	4	9	18	8	18	40
Sukkerroer	1	1068	200	47	6	12	27	12	26	61
<i>Jordtyper:</i>										
JB 1	5	72,2	153	57	6	13	29	13	28	67
JB 4	3	82,8	115	48	19	41	90	40	88	208
JB 6	4	98,6	141	38	10	22	49	22	48	114
JB 7	3	99,4	181	27	16	33	72	33	70	158
<i>Varighed:</i>										
1. år	4	101,3	170	50	15	32	70	31	68	161
2. år	2	73,6	159	47	7	14	31	14	31	72
3. år	5	80,1	130	38	12	24	53	24	52	122
4. år	2	69,5	137	32	16	33	72	33	70	159
5. år	2	105,1	149	56	8	16	37	16	36	87

Forskel mellem afgrøder.

Der er ikke væsentlig forskel på den målte udvaskning mellem afgrøderne. Udvaskningen er opgjort i efterår og vinteren efter den angivne afgrøde. Ved sammenligningen skal man være opmærksom på, at vinterrug er dyrket på JB 1, som generelt har en høj udvaskning.

Omkostningen ved at reducere kvælstofudvaskningen ved at reducere kvælstoftildelingen varierer mellem kornafgrøderne, men forsøgsgrundlaget er ikke stærkt nok til at identificere signifikante forskelle. Omkostning pr. kg reduceret kvælstofudvaskning ligger i vinterraps og sukkerroer på niveau med omkostningen i korn.

Forskel mellem jordtyper

Udvaskningen falder fra JB 1 til JB 7. Det skyldes både den større vandholdende evne på JB 7 i forhold til JB 1 og, at nedbøren i de vestlige egne af landet, hvor forsøget på JB 1 er gennemført, er betydeligt højere end i Østdanmark, hvor forsøgene på JB 7 er placeret. Forskellen i udvaskning og marginaludvaskningen mellem lerjord og sandjord betyder, at det er betydeligt dyrere på JB 7 at reducere kvælstofudvaskningen med 1 kg ved reduktion af kvælstoftilførslen.

Betydning af varighed af forsøget

Kvælstofmængden har ikke blot betydning for udbyttet i det år, hvor det bliver tilført. Det har også betydning i de følgende år, fordi der er en eftervirkning af det tilførte kvælstof. Jo længere et forsøg med forskellige kvælstofniveauer ligger, jo større forskel vil der være mellem de forskellige kvælstofniveauer. Det vil specielt gælde ved en reduktion i kvælstofmængden fra det optimale niveau, fordi reduktionen vil betyde en lavere kvælstofpulje i jorden. SEGES² har på grundlag af langvarige

forsøg regnet med, at effekten af en kvælstofreduktion på udbyttet vil blive 1,5 gange større, end den reduktion i udbyttet, der kan måles i étårige forsøg.

Tilsvarende vil forskellen i udvaskning mellem de forskellige kvælstofniveauer blive større med årene. Det må antages specielt at være gældende ved en mindre tilførsel end kvælstofbehovet.

Et større tab ved undergødskning på lang sigt og en større reduktion af kvælstofudvaskningen vil betyde, at omkostningen pr. kg kvælstof i reduceret udledning kan være det samme på lang som på kort sigt. Men det er ikke belyst i forsøg.

I tabel 3 er vist en opdeling af de 17 forsøg efter, hvor mange år forsøget har ligget og fået forskellige kvælstofniveauer. Udvasningen er meget bestemt af klimaet i det enkelte år herunder mest af nedbøren om efteråret og vinteren. Ved tolkning af betydningen af varigheden af forsøgene skal man være opmærksom på, at flere af forsøgene er anlagt i samme år. Det betyder, at forsøg som f.eks. har ligget i 2 år er koblet sammen med bestemte årstal. Derfor kan forskelle i udvaskning og omkostningerne ved at reducere kvælstofudvaskningen mellem forskellig varighed af forsøgene i lige så høj grad være koblet til forskelle mellem årene som forskellen i varighed.

Opdelingen af forsøgene efter varighed viser ingen entydig udvikling efter, hvor længe forsøgene har ligget. Det er ikke muligt ud fra denne analyse at vise, om tabet ved reduktion af kvælstofudvaskningen pr. kg kvælstof stiger eller falder på lang sigt.

Omkostningen set i relation til andre opgørelse og andre virkemidler

I virkemiddelkataloget¹ fra Aarhus Universitet 2020 er angivet en omkostning pr. kg reduceret kvælstofudvaskning ved reduktion af kvælstoftilførslen. Beregningen bygger på tabsfunktioner for udbytte og proteinindhold for de enkelte afgrøder, som SEGES har udviklet ud fra landsforsøgene. Udvasningsreduktionen ved reduceret kvælstoftilførsel bygger på N-LES5 modellen. Resultatet er angivet ved en reduktion af kvælstoftilførslen på henholdsvis 10 og 20 pct. Det svarer til ca. 20 og 40 kg reduktion af kvælstoftilførslen til vinterhvede og 15 og 30 kg kvælstof for vårbyg. Omkostningen opgives for vinterhvede til 13-45 kr. pr. kg N ved en reduktion på 20 pct. Lavest omkostning på JB 1 i nedbørsrige egne og højst på JB 7 i nedbørsfattige områder. Det er en lidt lavere omkostning end fundet i nærværende undersøgelse, hvor omkostningen til en reduktion på 40 kg kvælstof i 7 forsøg i vinterhvede er 54 kr. pr. kg N reduceret udvaskning. Forskellen er dog ikke stor, i det hovedparten af vinterhvedeforsøgene er gennemført på JB 7 i nedbørsfattigt område.

Samlet set er der fundet en lidt højere omkostning ved reduktion af kvælstofudvaskningen end opgivet i virkemiddelkataloget. Styrken i denne undersøgelse er, at den bygger på sammenhørende og målte værdier for tab af udbytte og reduktion af kvælstofudvaskningen i forhold til beregningerne i virkemiddelkataloget, hvor udbyttetab og reduktion i udvaskningen ikke bygger på samme forsøg.

I virkemiddelkataloget er omkostningen til reduktion af udvaskningen med efterafgrøder angivet til at være fra 7 til 167 kr. pr. ha. Den laveste omkostning svarer til en situation uden behov for sædskifteændringer og den højeste omkostning en situation med massivt behov for sædskifteændringer. Efterafgrøder, hvor der ikke er behov for sædskifteændringer, vil derfor altid være et billigere virkemiddel end en reduktion af kvælstoftildelingen. Ved behov for sædskifteændringer stiger omkostningen ved efterafgrøder betydeligt. Hvis denne omkostning overstiger 54 kr. pr. kg N i reduceret udledning (ca. 1.800 kr. pr. ha efterafgrøder) vil det være billigere at reducere kvælstoftildelingen med op til 20 kg kvælstof pr. ha på 8,6 ha. Hvis omkostningen til efterafgrøder overstiger 126 kr. pr. kg N i reduceret N-udvaskning (svarende til ca. 4.200 kr. pr. ha) vil det være mere fordelagtigt at reducere kvælstoftildelingen med op til 40 kg kvælstof pr. ha på 4,6 ha end at øge efterafgrødearealet.

Omkostningen til sædskifteændringer på lerjord vil typisk være i størrelsesordenen 2.000-3.000 kr. pr. ha. Dette svarer til, at udvaskningsreduktionen kan reduceres billigere ved at reducere kvælstoftilførslen 20-30 kg kvælstof pr. ha på 6-9 ha.

Bilag 1. Anvendte priser i beregningerne

Afgrøde	Kr. pr. hkg	Protein kr. pr. pct. enhed pr. hkg
Vårbyg	116	3,5
Vinterhvede	115	3,5
Vinterrug	110	3,5
Vinterbyg	116	3,5
Triticale	110	3,5
Vinterraps	6,14	
Sukkerroer	20	

Kvælstofpris: 7,36 kr. pr. kg kvælstof

Referencer

- [1] Eriksen,J., Thomsen, I.K., Hoffmann,C.C., Hasler,B. og Jacobsen,H. (redaktører) (2020): VIRKEMIDLER TIL REDUKTION AF KVÆLSTOFBELASTNINGEN AF VANDMILJØET, DCA rapport nr. 174
- [2] Knudsen, L. 2010. Beregning af konsekvensen af undergødskning. Planteavlsorientering nr. 37.
https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Naeringsstoffer/Kvaelstof-N/Sider/pl_po_10_037.aspx