

Forskellige dyrkningstiltags effekt på
kvælstofudvaskningen og deres potentiale
som virkemidler i en udledningsbaseret
kvælstofregulering

SEGES Innovation
Januar 2024

Denne rapport er udarbejdet af SEGES Innovation med støtte fra Promilleafgiftsfonden for Landbrug.

Indhold

Indledning	3
Betydning af håndtering af roetop i sukker- og foderroer	3
Dyrkning af majs med lav kvælstofudvaskning	6
Tidspunkt for destruktion af efterafgrøder	7
Udvaskning om vinteren efter høst af raps	8
Efterårsgødsning af vinterraps	10
Nedmuldning af halm	13
Jordbearbejdning	15
Referencer	17

Indledning

I vandområdeplanerne for 2021-2027 samt den politiske aftale om Grøn omstilling af dansk landbrug fremgår det, at kvælstofudledningen skal reduceres med i alt ca. 13.000 ton. En del af denne reduktion skal ske via indsatser på dyrkningsfladen. I rapporten "Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen" (Eriksen et. al., 2020) er effekten af en række virkemidler gennemgået.

I nærværende rapport er effekten og muligheden for implementering af andre virkemidler, der ikke direkte er omtalt i Virkemiddelrapporten, beskrevet, eller hvor effekten her ikke er entydig. Udgangspunktet for beskrivelsen i denne rapport er forsøg og undersøgelser og en vurdering af nuværende landbrugspraksis og muligheder for at ændre denne.

Mulighed for reduktion af udvaskningen af kvælstof er undersøgt for følgende dyrkningstiltag:

- Fjernelse af roetop ved optagning af sukker- eller foderroer
- Efterafgrøder og gødskning af majshelsæd
- Ændring af tidspunkt for nedmuldning eller destruktion af efterafgrøder
- Efterafgrøder eller reduceret jordbearbejdning efter høst af vinterraps
- Reduceret kvælstoftilførsel om efteråret til vinterraps
- Nedmuldning af halm
- Jordbearbejdning efterår og afgrødeetablering

Betydning af håndtering af roetop i sukker- og foderroer

Der dyrkes ca. 31.000 ha sukkerroer til fabrik og 7.000 ha foderroer i Danmark. Stort set alle sukkerroer til fabrik dyrkes på lerjord i Østdanmark, hvor afstrømningen starter senere og er betydeligt mindre end i den vestlige del af landet. Både LOOP-opgørelser og sugecelleforsøg ved SEGES Innovation tyder på, at udvaskningen generelt er meget lav i roesædskifter på Lolland og Sjælland. Den gennemsnitlige udvaskning i et sugecelleforsøg på Lolland i et sædskifte med roer var 31 kg kvælstof pr. ha som gennemsnit af seks sæsoner med sukkerroer i to af årene (Landsforsøgene 2022 s. 227). I en opgørelse af udvaskningen fra LOOP-oplande ses en meget stor spredning i udvaskningen fra korn dyrket efter roer. Den årlige udvaskning opgøres til mellem <5 kg N pr. ha og lidt over 60 kg N pr. ha (Blicher-Mathiesen 2022). Udvasningen fra foderroer i Vest- og Syddanmark må forventes at være højere på grund af den større afstrømning og større gødningstilførsel.

Kvælstofnormen til sukkerroer er markant lavere end til foderroer, hvorfor der kan være store forskelle på udvaskningen fra sukker- og foderroer. I tabellen ses fordelingen af dyrkning af foder- og sukkerroer samt deres kvælstofnorm på hhv. sand og lerjord.

Antal ha med sukkerroer i Danmark	Sukkerroer 2023	Foderroer 2023
Region Hovedstaden		34
Landsdelene Byen København, Københavns omegn og Nordsjælland		28
Landsdel Bornholm		
Region Sjælland	29.752	67
Region Syddanmark	748	1.570
Landsdel Fyn	737	367
Landsdel Sydjylland		1.204
Region Midtjylland		1.377
Landsdel Østjylland		246
Landsdel Vestjylland		1.131
Region Nordjylland		1.303
I alt	31.237	7.327
Kvælstofnorm JB 7-9	133	211
Kvælstofnorm JB1-4, vandet sandjord	140	225

Da roer generelt har en relativ høj kvælstofudnyttelse, forventes udvaskningen som udgangspunkt at være lav, men der kan være en udvaskning fra den efterladte roetop grundet frigivelse af kvælstof i løbet af efterårs- og vinterperioden. Denne kan ligeledes afhænge af kvælstoftilførslen. Nedenfor er der samlet resultater fra en række undersøgelser, som belyser udvaskningsrisikoen fra efterladt roetop.

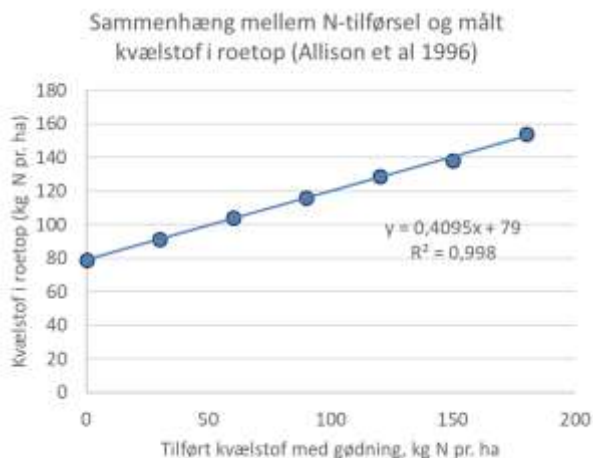
I en hollandsk undersøgelse blev det vist, hvordan afgrøderester fra broccoli, salat og sukkerroer påvirkede tabet af kvælstof via nitratudvaskning, som ammoniak og via denitrifikation (Ruijter et al 2010). Broccoli og salat indgik i to år, hvor sukkerroerne kun indgik i ét forsøgsår.

Plantematerialet blev hentet fra marker hos landmænd og tilført en forsøgsmark, hvor der blev gennemført målinger fra oktober til marts. Der indgik både en behandling uden jordbearbejdning og en behandling, hvor jorden blev bearbejdet med en såkaldt "Rototiller", som er en fræsning. Der indgik også en gødsket og en ikke gødsket reference uden jordbearbejdning.

Når afgrøderesterne lå på jorden, var der ammoniakfordampning på op mod 10% af det tilførte kvælstof, hvorimod der ved fræsningen ikke forekom betydelige tab via ammoniakfordampning. Derimod resulterede fræsning i et tab på 10% af det tilførte kvælstof i afgrøderesterne via denitrifikation, hvor det kun var ca. 2% uden fræsning. Resultaterne tyder således på, at tabet via luften ikke reduceres med jordbearbejdning, men at lattergasemissionen formentlig kan reduceres med jordbearbejdning af roetoppen.

Udvaskningsrisikoen blev estimeret med N-min målinger i løbet af perioden, og der var mere N-min ved fræsning, fordi nedbrydningen formodes at være hurtigere samt en generel øget mineralisering fra jorden. Det blev estimeret, at 5-10% af kvælstoffet fra roetoppen vaskede ud i perioden, hvilket var markant lavere end andelen fra Broccoli og Salat. I forsøget blev der tilført 72 kg N pr. ha med roetoppen, og udvaskningen vil svare til omkring 4 kg N pr. ha. Olsen og Bramstorp (1994) estimerer også, at ud af 100 kg N pr. ha i roetoppen tabes 20-30% som ammoniak, 10% som udvaskning af nitrat, 55% tilbageholdes.

I en anden undersøgelse fra UK (Allison et al 1996) blev det undersøgt, hvordan N-indholdet i roetoppen øges med stigende tilførsler af kvælstof i gødningen. N-optagelsen i toppen varierede fra 79 kg N pr. ha uden tilførsel af kvælstof til 154 kg N pr. ha ved tilførsel af 180 kg N pr. ha. Sammenhængen er vist i figuren.



Figur 2.1. Optagelse af kvælstof i roetop som funktion af kvælstoftilførsel.

Stigende mængder kvælstof resulterede ligeledes i faldende C:N-forhold, hvilket kan resultere i en hurtigere omsætning og dermed øget risiko for udvaskning. I artiklen diskuteres også, at tabet via ammoniakfordampning og denitrifikation kan være betydeligt.

På baggrund af artiklen "Anvendelse af biomasse fra efterafgrøder og roetop" fra Nordic Beet Research (Nielsen og Börjesdotter, 2023) kan det estimeres, at der i sukkerroer til fabrik er omkring 100-120 kg N pr. ha i roetoppen. Hvis dette antages at være ved tilførsel af en gennemsnitlig kvælstofnorm på 133 kg N pr. ha passer det med niveauet i Allison et al (1996). Øges kvælstoftilførslen til kvælstofnormen for foderroer på 211 kg N pr. ha vil det svare til et øget kvælstofindhold i toppen på ca. 30 kg N pr. ha og et total indhold i toppen på omkring 160-170 kg N pr. ha.

Risikoen for kvælstofudvaskning som følge af efterladt roetop afhænger af, hvor meget kvælstof der mineraliseres i løbet af vinteren. I artiklen "Fate of nitrogen from sugar-beet tops" diskuteres det på baggrund af forskellige undersøgelser. Flere undersøgelser indikerer, at en meget lille del af den samlede N-mængde fra toppen kan genfindes i jorden i løbet af vinteren. Målingerne viser, at mellem 9 og 16% mineraliseres frem til juni. Det beskrives også, at fjernelse af toppen kan minimere risikoen for udvaskning med omkring 5 kg N pr. ha.

I tabel 2.1 er der lavet en vurdering af mineraliseringens størrelse og et estimat af udvaskningens størrelse. Sukkerroer tages op fra slutningen af september til midt i december. Ved optagning fra midt i oktober forventes der ikke at ske en nævneværdig udvaskning fra efterladt roetop, fordi overskudsnedbøren vil ikke vaske dannet nitrat ud af rodzonen på lerjord og i nedbørsfattige egne. Ved optagning før midt i oktober skønnes der at kunne ske en vis udvaskning. I gennemsnit er antaget, at 20 pct. af den mineraliserede kvælstof vil blive udvasket.

På sandjordene estimeres en relativ høj udvaskning pr. ha, men det har mindre betydning for den samlede udvaskning på landsplan. Potentialet for at reducere udvaskningen fra sukkerroer ved at fjerne roetoppen vurderes relativt lavt. Fjernelse af roetop har et større potentiale for at reducere udvaskningen i foderroer, der typisk på sandede jorde og med et højere kvælstofniveau.

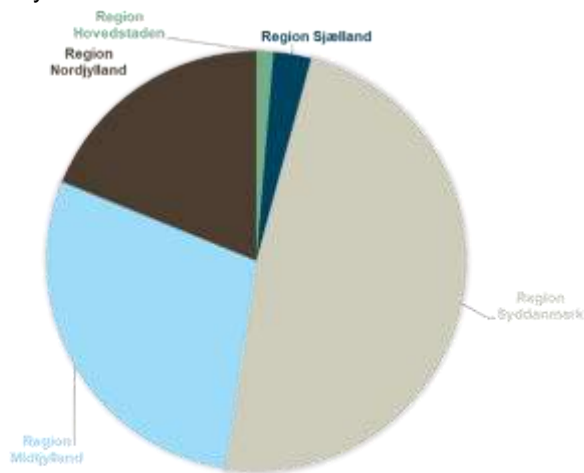
Tabel 2.1. vurdering af mineraliseringens størrelse og et estimat af udvaskningens størrelse efter roetop efterladt i marken.

	Sukkerroer på lerjord med lav afstrømning	Foderroer på sandjord med høj afsrømning
Kvælstofnorm, kg N pr. ha	133	211
Estimeret kvælstof i roetoppen, kg N pr. ha	120	170
Estimeret N i roetop efter N-tab til luften (20%)	96	136
Mineralisering frem til marts (25%) af total input, kg N pr. ha	30	42
Andel som udvaskes frem til marts, pct. af mineraliseret kvælstof	20	80
Udvaskning frem til marts, kg N pr. ha	6	33
Antal ha i praksis, ha	31.237	7.327
Estimeret kvælstofudvaskning i ton i alt i Danmark, ton N	186	241

Udvaskningsreduktionen vil primært ske i efterårs- og vintermånedene, og vil sandsynligvis ikke have en stor effekt på en eventuel forårs- og sommerudvaskning.

Dyrkning af majs med lav kvælstofudvaskning

Der dyrkes omkring 180.000 ha majs i Danmark. Fordelingen af majs helsæd ses af figuren. Langt størstedelen er majs til helsæd og langt størstedelen dyrkes i Region Syddanmark og Region Midtjylland. Langt den største andel af jorderne i områderne er JB 1-3, og det er således primært på de sandede jorde majsens dyrkes.



Figur 3.1. Fordeling af dyrket areal med majs til helsæd mellem regioner i 2022. (kilde: Danmarks Statistik)

Resultater fra Landsforsøgene viser en gennemsnitlig udvaskning på omkring 100 kg kvælstof pr. ha (Landsforsøgene 2023). Der er også tidligere vist udvaskninger i denne størrelsesorden, bl.a. i Landsforsøgene 2022 (s. 227) og Landsforsøgene 2015 (s. 195). En undersøgelse, hvor udvaskning fra majs i monokultur er målt i Jyndevad, viser en gennemsnitlig udvaskning over tre år på 178 kg kvælstof pr. ha. Resultatet tyder på, at man på nogle jorde vil have endnu større udvaskning end målingerne, der er gengivet i Landsforsøgene.

På baggrund af 12 forsøg med måling af udvaskningen i majs vurderes det, at potentialet for at reducere udvaskningen med efterafgrøder er omkring 20-40 kg kvælstof pr. ha, svarende til udvaskningsreduktion omkring 30 procent (Kristensen, 2023). I forsøgene er referencen en efterafgrøde af almindeligt rajgræs sået ca. 6 uger efter majssåning. Forsøgene viste, at man ved at etablere efterafgrøden to uger tidligere samt ved at iblande cikorie, kunne reducere udvaskningen med ca. 30 procent.

Desuden er det på baggrund af en tysk undersøgelse (Westerschulte et al 2017) samt kvælstofudnyttelsen i majs helsæden i de 12 forsøg skønnet, at udvaskningen kan reduceres med 10-20 kg N pr. ha, hvis gyllen placeres under majsrækken fremfor nedfældning.

Udvaskningen kan desuden reduceres, hvis man udskyder tildelingen af gylle til omkring såtidspunktet for majsens. På baggrund af målingerne er potentialet for at reducere udvaskningen vurderet i tabel 3.1 med en reference, hvor gyllen tildeles ved nedfældning i marts og der etableres en efterafgrøde af almindelig rajgræs 6 uger efter majssåning.

Tabel 3.1. Vurdering af potentialet for at reducere udvaskningen i majs

Dyrkningstiltag	Udvaskning og effekt, kg N pr. ha
Nedfældning af gylle i marts og Alm. rajgræs 6 uger efter majssåning	100
Udskydelse af gylleudbringning til lige før såning primo maj	96 (- 4)
Placeret gylle ved majssåning Alm. rajgræs 6 uger efter majssåning	76 (-20)
Placeret gylle ved majssåning Efterafgrøde med cikorie sået fire uger efter majssåning	46 (-30)

I denne vurdering kan man reducere udvaskningen med 40-50 pct. uden at tilføje mindre kvælstof. En anden mulighed er at tilføje mindre kvælstof med gyllen, hvilket i forsøgene også har givet en god effekt og kan reducere udvaskningen.

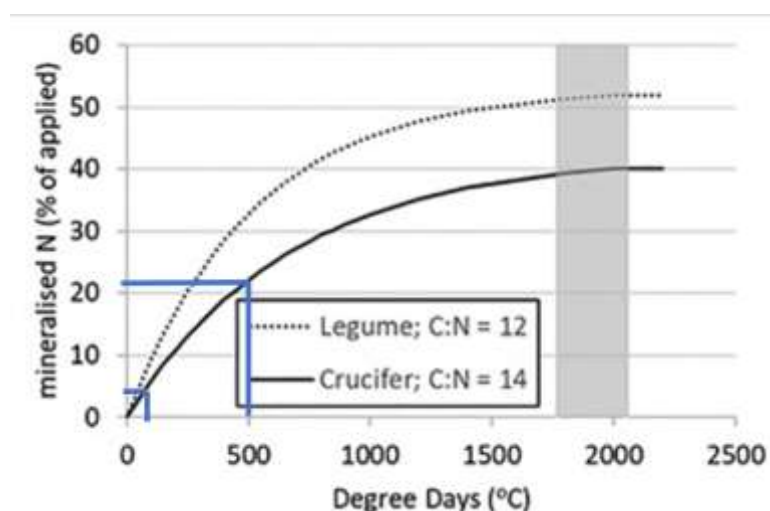
Tildelingstidspunkt og teknik varierer i nuværende praksis, og derfor vil man ikke på alle arealer kunne reducere udvaskningen i denne størrelsesorden. Men det vurderes, at man på langt størstedelen af arealet kan optimere artsvalget og etableringen af efterafgrøderne, justere kvælstofmængden eller optimere gylleudbringningstidspunkt og metode. Samlet vurderes det, at potentialet for reduktion af kvælstofudvaskningen i majs er stort.

Hvis man på hele majsarealet i Danmark kunne opnå en gennemsnitlig udvaskningsreduktion på 30 procent, kan der opnås en samlet udvaskningsreduktion fra rodzonen på 5.400 ton, svarende til ca. 1.800 ton kvælstof udledt til vandmiljøet.

Tidspunkt for destruktion af efterafgrøder

SEGES bekendt findes der kun få undersøgelser, som belyser effekten på kvælstofudvaskningen af destruktionstidspunkt for efterafgrøder. Herudover opgøres det ikke, hvornår efterafgrøderne destrueres i dag, så det er vanskeligt at vurdere potentialet.

Først og fremmest er det relevant at se på, hvor hurtigt en efterafgrøde omsættes efter destruktion. Vogeler et al. 2021 har på baggrund af forsøg modelleret mineraliseringshastigheden for to forskellige efterafgrøder. Mineraliseringshastigheden ses i figur 4.1, og den grå markering viser det typiske antal graddage fra marts til høst af hovedafgrøden i august i Foulum. Beregnes antallet af graddage ifølge DMI's normal, så er der ca. 450 graddage fra 1. november til 1. april og kun 63 graddage mellem 1. februar og 1. april. Disse normaler er indtegnet i figur 4.1. Her fremgår det, at ved pløjning omkring 1. november kan det forventes, at omkring 20 procent af den samlede kvælstofmængde mineraliseres inden 1. april. Mineraliseringen kan reduceres til under 5 procent af den samlede kvælstofmængde, ved at udsætte pløjetidspunktet til 1. februar.



Figur 4.1. Mineraliseringshastigheder ved nedmuldning af bælgplanter og korsblomstrede planter

På baggrund af satellitmålinger er der med udgangspunkt i data fra 5.000 efterafgrødemarker i Danmark estimeret en gennemsnitlig N-optagelse i overjordisk biomasse på 27 kg kvælstof pr. ha. Hvis det antages, at den overjordiske kvælstof biomassen udgør 2/3 af den samlede kvælstofmængde i efterafgrøden, vil den samlede kvælstofoptagelse i efterafgrøderne være ca. 40 kg N pr. ha.

Tabel 4.1. Mineralisering inden 1. april for to tidspunkter for nedpløjning af en korsblomstret efterafgrøde (1. nov. og 1. feb.) vurderet på baggrund af Vogeler et al. 2021 og normal temperatur fra DMI.

Samlet kvælstofindhold (rod og top)	40 kg N pr. ha
Mineralisering ved pløjning 1. november (21%)	8 kg N pr. ha
Mineralisering ved pløjning 1. feb. (ca. 5%)	2 kg N pr. ha

Som det er illustreret i tabel 4.1 er det en beskedent mængde kvælstof, der frigives, selvom man pløjer 1. november, og som potentielt kan udvaskes i løbet af vinteren. En udskydelse af pløjetidspunktet fra 1. november til 1. april vil betyde, at mineraliseringen kan reduceres med ca. 6 kg N pr. ha.

Det formodes, at man på sandjord har en praksis med destruktion efter 1. februar, og der er desuden for nyligt indført regler, så sandjorderne skal have jorddække frem til 1. februar. På lerjorderne er der sandsynligvis stor forskel på pløjetidspunkterne. En anden kompleksitet er, at nogle efterafgrøder vil fryse ned, og mineraliseringen starter i nogen grad allerede der. Derfor er det svært at vurdere potentialet.

Men det antages, at potentialet for at udskyde pløjetidspunktet er på lerjord, og at andelen af det mineraliserede kvælstof som udvaskes, vil svare til mindre end 50 procent. En udskydelse af destruktionstidspunktet vil således højst reducere udvaskningen med 3-4 kg N pr. ha.

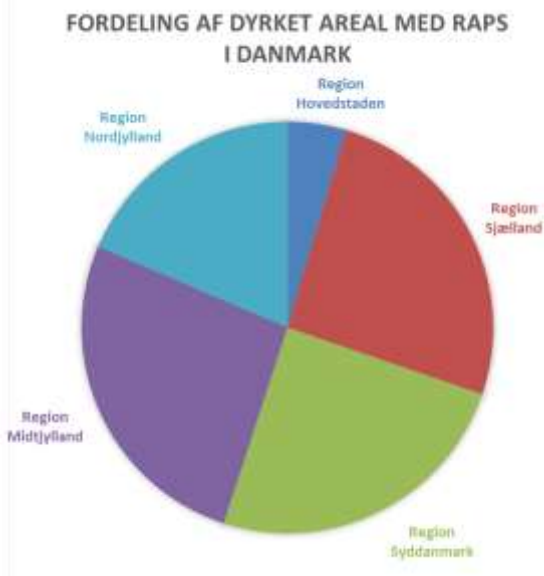
Ifølge Landsforsøgene 2022 udgør lerjord ca. 27 procent af det dyrkede areal, svarende til 650.000 ha. Andelen af arealet med efterafgrøder vurderes til 30 procent, svarende til 195.000 ha. På nogle af arealerne vil den nuværende praksis være at destruere efterafgrøderne senere end november. Det vurderes her, at man som gennemsnit af arealet med efterafgrøder vil kunne opnå en udvaskningsreduktion på 2 kg N pr. ha svarende til 390 tons kvælstof i alt. Det giver en reduktion til vandmiljøet på ca. 130 tons N.

I beregningen er der ikke taget hensyn til, at en udskydelse af destruktionstidspunktet muligvis kan øge kvælstofoptagelsen, og på den måde reducere udvaskningen yderligere. I varme efterår og vintre, hvor mineraliseringen fra jordpuljen også vil være større end normalt, kan der muligvis være denne effekt.

Det vurderes, at som gennemsnit over år er potentialet for at reducere udvaskningen ved at udskyde pløjetidspunktet relativt beskedent.

Udvaskning om vinteren efter høst af raps

I 2023 blev der i Danmark dyrket ca. 210.000 ha vinterraps. Dyrkningen sker i hele landet med en ligelig fordeling mellem landdelene.



Umiddelbart vil man forvente, at udvaskningen fra vinterraps i etableringsåret er lav, fordi vinterrapsen på linje med en efterafgrøde kan optage meget kvælstof. Men tidligere målinger indikerer, at udvaskningsrisikoen ved

dyrkning af vinterraps er relativt høj (Landsforsøgene 2022 s. 228). En årsag er, at der mange steder tilføres større mængder kvælstof i efterårsperioden, specielt i husdyrgødning, end der forventeligt er behov for. Potentialet for at reducere udvaskningen ved at reducere efterårstilførslen af kvælstof til vinterraps i efteråret er vurderet i afsnittet, om efterårsgødning af vinterraps. Den anden udfordring ved dyrkning af vinterraps er, at der efter høst af raps kan opbygges et ret højt N-min-niveau i jorden på grund af et stort bladtab i vækstperioden.

I en svensk undersøgelse er mulighederne for at reducere udvaskningen i vinterraps undersøgt på en "sandy loam" (Engström et al., 2011). Udvasningen under et vinterdække med vinterraps blev målt til 16-23 kg N pr. ha, hvor udvasningen var 35-94 kg N pr. ha i den efterfølgende vinterhvede. Den største udvaskning var altså i vinteren efter raps. Det blev testet, hvordan gødning med 50 kg N pr. ha over optimal kvælstofmængde, direkte såning af vinterhvede og udlæg af en græsefterafgrøde i vinterrapsen påvirkede udvaskningen. Reduktion af kvælstofmængden til den økonomisk optimale kvælstofmængde havde størst effekt, hvorefter græsudlæg som efterafgrøde havde næststørst effekt. Græsudlægget reducerede udvaskningen med cirka 20%. Direkte såning af vinterhveden efter rapsen havde ikke effekt på udvaskningen. Græsudlægget var udlagt i april og blev pløjet inden såning af vintersæden, således at man kunne nå at etablere vintersæd i samme år, som rapsen blev høstet. Græsudlægget havde optaget 19 kg N pr. ha i midten af september, hvor det blev ompløjet. Forfatterne beskriver, at der ikke var signifikant forskel på udbyttet i vinterhvede sået efter rajgræs, men det er ikke klart, om der var udbyttetab i vinterrapsen med udlæg.

I en tysk undersøgelse er nitratkoncentrationen ved dyrkning af vinterraps ligeledes undersøgt (Henke et al. 2007). Her sammenlignes honningurt som efterafgrøde med henholdsvis vintersæd og spildkorn. Efter spildkorn og honningurt blev der sået en vårafgrøde i det efterfølgende forår. Vintersæden blev sået i samme kalenderår som rapsen blev høstet. Med en efterafgrøde efter vinterraps blev udvaskningen i det ene år reduceret med over 50 procent og i det andet med hele 80 procent sammenlignet med vintersæd. Der var ligeledes relativt store forskelle på kvælstofoptagelsen i efteråret mellem efterafgrøden og vinterhvede, hvor efterafgrøden optager mere kvælstof.

I undersøgelsen er der også en behandling, hvor vinterhvede etableres med og uden pløjning, og her ses en effekt i et af de to forsøgsår. Udvasningen reduceres i forsøgsåret med 55 procent. I den pløjefri etablering nedvisnes med glyphosat, og jorden harves med en såkaldt, compact disc cultivator.

I de to undersøgelser beskrives således to virkemidler, der kan anvendes efter høst af raps, nemlig etablering af vintersæd uden pløjning og etablering af en efter- eller mellemafgrøde efter vinterraps. Den mest lovende af de to er græsudlæg, som kan ompløjes før etablering af vinterhvede, især fordi den svenske undersøgelse indikerer, at der ikke er signifikante udbyttetab i hveden.

Et andet spørgsmål er, om der er forskelle på, hvor meget kvælstof sorterne efterlader, og om der er forskel på, hvordan høstmetoden påvirker udvaskningen. Flere undersøgelser tyder på, at der er forskelle på sorterens kvælstofudnyttelse, men de belyser ikke, om det også har en effekt på den efterfølgende mineralisering. Det har heller ikke været muligt at finde litteratur om, hvordan høstmetoden påvirker den efterfølgende mineralisering og udvaskning. Umiddelbart vil man forvente, at høst af raps på roden kan forbedre kvælstofudnyttelsen og mindske kvælstoftabet en smule i forhold til høst af raps efter skårlægning.

Den mest lovende metode til reduktion af kvælstofudvaskningen efter høst af raps var græs som mellemafgrøde og etablering af vintersæd efter raps uden pløjning. En kombination af begge praksisser er tvivlsom, og det vurderes, at man potentielt kan reducere udvaskningen med 20 procent i gennemsnit. På nogle arealer kan man benytte mellemafgrøder, som reducerede udvaskningen med 20%. Det antages, at ingen landbrugere benytter denne praksis i dag. Med reduceret jordbearbejdning er effekten mere uklar. Da etablering uden pløjning allerede praktiseres i ret stort omfang, og på andre ikke vil være egnet, vurderes potentialet for yderligere reduktion til at være ret lille. Det kan eventuelt være et potentiale i at tilpasse kvælstoftilførslen til valg af sort.

I tabel 5.1 ses den målte udvaskning i marker med vinterraps målt i LOOP-oplande og i to landsforsøg. Der indgår alle de marker, hvor der har været vinterraps, i alt 12 observationer fordelt på forskellige jordtyper.

Tabel 5.1. Udvasning i marker med vinterraps målt i LOOP-oplande og i to landsforsøg (Blicher-Mathiesen et al. 2021 og Landsforsøgene 2022 s. 227).

LOOP-station eller forsøg	JB	År med raps	Udvaskningsår	Udvasning, kg N pr. år
LOOP 205	3	2017	2017-18	182
LOOP 204	1	2008	2008-09	47
LOOP 202	1	2013	2013-14	47
LOOP 202	1	2018	2018-19	159
LOOP 201	4	2017	2017-18	90
LOOP 201	4	2008	2008-09	92
Landsforsøg 07013-001	4	2020	2020-21	84
LOOP 106	6	2005	2005-06	23
LOOP 106	6	2012	2012-13	20
LOOP 106	6	2017	2017-18	36
LOOP 103	6	2017	2017-18	58
Landsforsøg 07014-001	6	2018	2018-19	58

Efterårsgødskning af vinterraps

I det år, hvor vinterraps etableres, vil man forvente, at udvaskningen af kvælstof er lav, fordi vinterrapsen på linje med efterafgrøder kan optage store kvælstofmængder. Men både danske og udenlandske forsøg indikerer, at der er risiko for høj udvaskning fra vinterraps i udlægsåret, formentligt fordi der om efteråret tilføres husdyrgødning i et omfang, der ikke er behov for. Når vinterrapsen skal gødskes om efteråret, bør der tages højde for dyrkningshistorien, dvs. tilførsel af husdyrgødning og planterester i de foregående år, forfrugten og om der nedmuldes halm.

Årligt dyrkes der i gennemsnit ca. 171.000 ha vinterraps i Danmark (gennemsnit for perioden 2017-2023, jf. Danmarks Statistik). Gennemsnitligt regner det mest i den vestlige del af Danmark. På de arealer, hvorfra afstrømningen er størst, er der også risiko for de største kvælstoftab (Blicher-Mathiesen et al., 2023).

I Nordvesteuropa dyrkes der generelt meget vinterraps, og det er blevet normal praksis at gødske om efteråret. Sieling og Kage (2010) har sammenstillet flere forsøg med efterårsgødskning af vinterraps, og de rapporterer om et forsøg, hvor resultatet viser, at efterårsgødskning på 30 eller 60 kg N pr. ha ikke har betydning for hverken udbytte eller udvaskning. Lignende konklusioner finder de også i andre forsøg, hvor det tyder på, at ved en efterårstilførsel på 40 kg N pr. ha er det ekstra kvælstofoptag i efteråret ca. 18 kg N pr. ha, og det medførte et øget kvælstofoverskud (kvælstofbalance) ved høst på 33-37 kg N pr. ha. Der er gødsket ens om foråret. Dermed er kun 10 procent af det efterårstilførte kvælstof blevet fjernet med den høstede afgrøde (Tabel 6.1).

Tabel 6.1. Effekt på tørstofudbytte, kvælstofoptagelse, udbytte og kvælstofbalance ved tilførsel af 40 kg kvælstof pr. ha om efteråret.

	Above-ground dry matter (g/m ²)	N uptake (kg N/ha)	Seed yield (t/ha)	N balance (kg N/ha)
Unfertilized control	48.2 [‡]	18.2 ^b	4.59 ^b	–
40 kg N/ha on the wheat stubble	68.1 ^{ab}	24.7 ^b	4.71 ^{ab}	+36
40 kg N/ha directly after drilling	86.6 ^a	36.3 ^a	4.69 ^{ab}	+37
40 kg N/ha in the 2-4 leaf stage of oilseed rape	87.0 ^a	36.7 ^a	4.81 ^a	+33

‡ Within a column, means followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$.

Sieling og Kage (2010) har gennemgået flere forsøg, hvor udviklingen af afgrøderne har været undersøgt. De konkluderer, at selv ved kvælstofmangel i efteråret kan vinterraps nå at udvikle sig så meget i foråret, at der ikke kan findes signifikante forskelle i udbyttet. Dette resultat er også at finde i SEGES' landsforsøg fra 2011. I perioden 2009-2011 er der gennemført otte danske landsforsøg, der belyser effekten af udbringning af svinegylle til vinterraps før såning om efteråret. Forsøgene sammenlignes med effekten af gødskning i foråret. På baggrund af disse otte landsforsøg konkluderes det, at der ikke er signifikante forskelle på udbyttet ved tilførsel af kvælstof om efteråret eller foråret (tabel 6.2). Selv en ugødet rapsafgrøde, som udviser symptomer på kvælstofmangel om efteråret, kan gødes op til et normalt udbytte om foråret (Pedersen, 2011).

Ved tildeling af gødning til vinterrapsen om efteråret konkluderer et tysk forsøg, at vinterraps kan optage store mængder kvælstof om efteråret (>100 kg N pr. ha), men det er afgørende, at såningen ikke sker for sent i efteråret, da der ellers vil være risiko for, at planterne ikke udvikler sig tilstrækkeligt til at kunne optage kvælstoffet (Sieling og Kage, 2010). Både udenlandske og danske undersøgelser påpeger, at en tilførsel på mellem 30-60 kg N pr. ha ved såning ikke påvirker udvaskningsniveauet eller udbyttet væsentligt (Sieling og Kage, 2010; Pedersen et al., 2011). *Det kan endda være en fordel at tilføre 30 til 50 kg ammoniumkvælstof i gylle om efteråret ud fra et ønske om sikker etablering og god konkurrenceevne over for ukrudt om efteråret. De danske landsforsøg viser, at efterårsgødskning med gylle kun har en marginalt dårligere virkning end en forårsgødskning med handelsgødning*

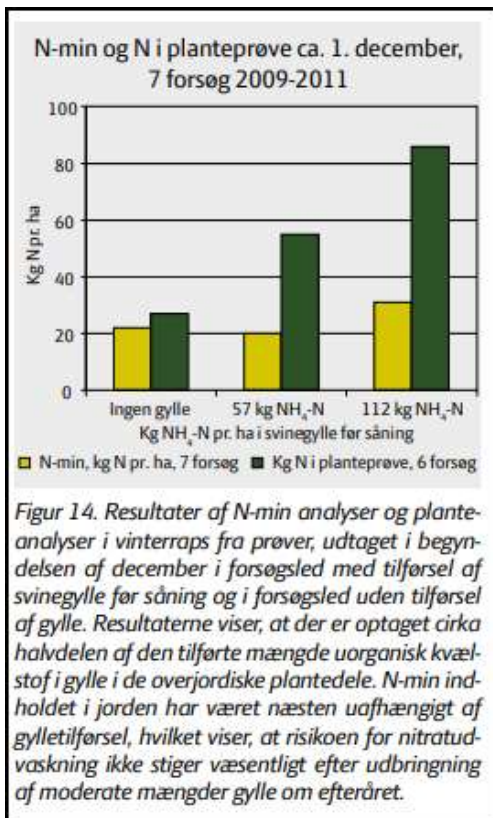
Generelt har afgrøder, der medfører høje N-min-målinger, som regel også et stort kvælstofbehov og/eller et stort overskud af planterester. Tyske N-min-målinger udtaget i januar og februar ned til 90 cm's dybde i 2017-2020 viser, at vinterraps i efteråret kan efterlade en stor mængde kvælstof i jorden på op til 97 kg N pr. ha (Dieser et al., 2023). I de danske landsforsøg, er der udtaget N-min-prøver fra jorden i en meters dybde primo december måned hvert år, samt N-min-prøver målt i planteklip fra de tre forskellige led. Prøverne er udtaget for at belyse optagelsen af kvælstoffet i plantedelene sammenholdt med indholdet i jorden og dermed risikoen for kvælstofudvaskning i løbet af vinteren.

Prøverne viser, at N-min-indholdet i jorden har været påvirket af en lille mængde af kvælstof udbragt i gylle, mens en høj mængde kvælstof udbragt i gylle har resulteret i et højere N-min-indhold på 9 kg N pr. ha i gennemsnit. I de overjordiske plantedele øges optagelsen af kvælstof med hhv. 28 kg N pr. ha i de led, der har fået 57 kg ammoniumkvælstof pr. ha fra gylle før såning, og 59 kg N pr. ha i de led, der har fået 112 kg ammoniumkvælstof pr. ha fra gylle før såning. Hermed er omtrent halvdelen af den udbragte mængde uorganisk kvælstof genfundet i plantedelene, og det konkluderes, at N-min i jorden i december kun er marginalt påvirket af tilførslen af op til 30 til 50 kg ammoniumkvælstof i svinegylle pr. ha ved såning. Resultaterne fra N-min-målingerne kan ses i figur 6.1 (Pedersen, 2011).

Tabel 6.2. Kvælstofvirkning af svinegylle til vinterraps før såning (Fra Pedersen, 2011).

Vinterraps	Ca. 1. december				Udbytte, hkg frø af standardkvalitet pr. ha		
	Planteprove, udbytte			N-min, kg N pr. ha	Handelsgødning, kg N pr. ha, forår		
	tørstof, ton pr. ha	kvælstof, kg pr. ha	svovl, kg pr. ha		75	125	175
2009-2011. Antal forsøg	6	6	6	7	8	8	8
1. Ingen gylle	0,8	27	3	22	35,3	39,9	43,8
2. 57 kg NH ₄ -N pr. ha i gylle før såning	1,6	55	7	20	39,1	42,9	45,2
3. 112 kg NH ₄ -N pr. ha i gylle før såning	2,0	86	10	31	40,9	45,0	45,5
LSD gyllemængde							1,5
LSD handelsgødning							1,5
LSD vekselvirkning							ns

Gødning, mængde og indhold	Udbragt mængde, ton pr. ha	Total-N, kg pr. ton	NH ₄ -N, kg pr. ton	NH ₄ -N, andel
2009-2011. 8 forsøg				
2. 57 kg NH ₄ -N pr. ha i gylle før såning	21,4	4,00	3,19	80
3. 112 kg NH ₄ -N pr. ha i gylle før såning	41,9	4,00	3,19	80



Figur 6.1. Resultater fra otte gødningsforsøg med svinegylle forud for vinterraps i årene 2009-11 (Pedersen, 2011)

Den gennemsnitlige mængde kvælstof tilført vinterrapsmarker i efteråret i Danmark, er på 77 kg total-N pr. ha, og heraf 55 kg N pr. ha fra gylle, (tabel 6.1). Ved en kvælstoftilførsel over 40 kg N pr. ha, vil ca. 40 procent være i risiko for at blive udvasket ifølge beregninger med NLES5-modellen, hvilket svarer til en udvaskning fra rodzonen på 2.619 ton N pr. år eller en udledning til kyst på 786 ton.

I løbet af en sæson er udvaskningen fra vinterraps dyrket i Danmark beregnet til 37,8 kg N pr. ha (Hvid, 2023).

Tabel 6.3 gengivet efter Hvid, 2023.

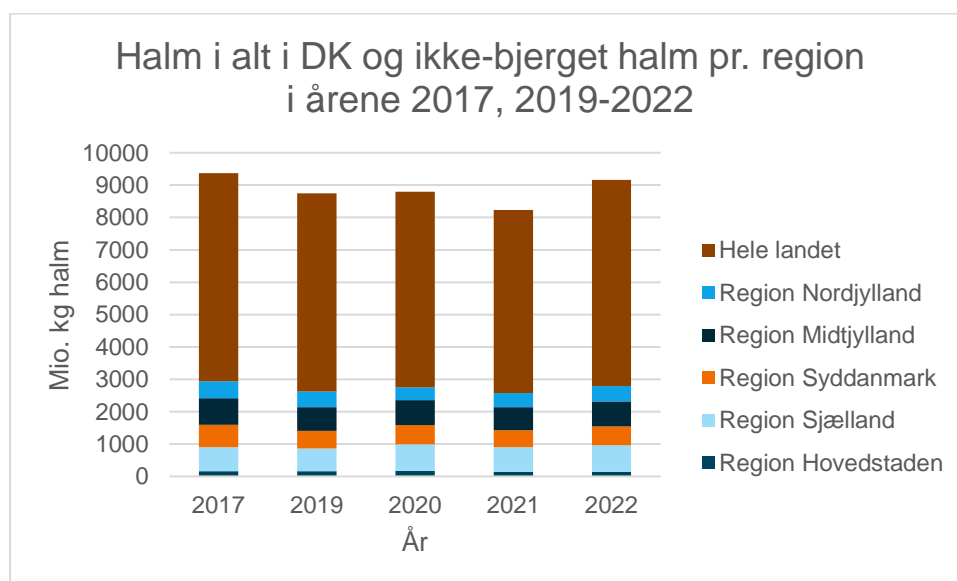
Table 3-9. The average amount of nitrogen applied to fields in spring and in autumn.

Region	Area, ha	N from mineral fertiliser spring (Kg N/ha)	N from mineral fertiliser autumn (Kg N/ha)	Total-N in manure spring (Kg N/ha)	Total-N in manure autumn (Kg N/ha)	N applied in total (Kg N/ha)
DK1 Hovedstaden	3.960	136	29	21	39	225
DK2 Sjælland	23.175	125	26	28	47	226
DK3 Syddanmark	24.505	96	18	53	66	232
DK4 Midtjylland	25.977	101	19	53	58	231
DK5 Nordjylland	12.271	90	17	71	66	245

Nedmuldning af halm

Ved nedmuldning af halm sker der en immobilisering af kvælstof i jorden på grund af halmens høje C:N-forhold. Dette vil reducere udvaskningen. På den anden side forøges mængde af organisk stof ved halmnedmuldning på lang sigt, hvad der kan forøge udvaskningen. Nettoeffekten er i virkemiddelkataloget (Eriksen et. al., 2020) vurderet til, at halmnedmuldning ikke påvirker udvaskningen.

I Danmark er der gennemsnitligt 2.737 mio. kg halm, der ikke bjergeres. Det svarer til 39 % af hele produktionen. Tallene er opgjort for årene 2017-2022, hvor 2018 er sorteret fra på grund af, at det var en tørkeramt sommer med stor betydning for udbyttet, og dermed viser 2018 ikke et gennemsnitligt billede af en almindelig dyrknings sæson. Halmen bliver enten liggende på jordoverfladen eller nedmuldet. Ved halmnedmuldning arbejdes snittet halm ned i jorden ved jordbearbejdning, fx pløjning eller harvning. Fordelingen af halm dyrket i hele landet og den del, der ikke bjergeres pr. region, fremgår af diagrammet herunder.



Figur 7.1 Halm nedmuldet pr. region og samlet halmudbytte pr. år.

Når halm fjernes fra marken, fjerner man også næringsstoffer, som skal tilføres marken igen på et senere tidspunkt. Næringsstovfærdien af halm er stort set ens for de enkelte kornarter. Næringsstofindholdet i

rajgræshalm er større end i kornhalm, men i praksis varierer det meget. Næringsstofindholdet i halm for de forskellige kornarter og rajgræs, er listet i tabel 7.1. Ved bjærgning af halm fra korn fjernes typisk 15-25 kg kvælstof pr. ha.

Tabel 7.1. Kvælstofindhold i halm (efter Knudsen og Nielsen, 2022)

Halmtyp	Kvælstof (pct. af tørstof)
Vinterhvede	0,53
Vårbyg	0,64
Vinterbyg	0,64
Havre	0,59
Vinterrug	0,61
Rajgræs	0,81
Vinterraps	0,85

Værdien af at tilføre jorden organisk stof er vanskelig at fastsætte. Størst værdi har nedmuldning af halm på arealer, hvor humusindholdet er lavt, evt. fordi der ikke tilføres planterester, herunder efterafgrøder, eller husdyrgødning i sædskiftet (Knudsen og Nielsen, 2022).

Omsætningen af nedmuldet halm sker langt hurtigere end for halm, der ligger på jordoverfladen (Christensen og Schjønning, 1987). I topjorden omsættes stort set den samme mængde, uanset om halmen er nedmuldet i 5, 10 eller 15 cm dybde. Ved forårets begyndelse er omtrent halvdelen af halmen omsat, og efter et år kan der genfindes 10-35 % af halmen i jorden (Christensen og Schjønning, 1987). Ved høst kan 5 ton halm indeholde 20-45 kg N. Efter nedmuldningen stiger halmens indhold af N frem til foråret, hvor 5 ton halm kan fastlægge op til 16 kg N/ha. Fastlæggelsen er størst på lerjorde, men hvor meget der fastlægges, afhænger af jordens indhold af lettilgængeligt N (Christensen og Schjønning, 1987). Det har ingen betydning for omsætningen af halmen i jorden, hvor stort et indhold af N, der er i halmen på nedmuldningsstidspunktet (Christensen og Schjønning, 1987), men halmstykkernes størrelse har betydning for immobiliseringen. Jo større stykker, desto mindre immobiliseres, hvilket også er set i andre forsøg (Hansen et al., 2010). Ved immobiliseringen indbygges kvælstof fra halm og jorden i den mikrobielle pulje, og kvælstofudvaskningen reduceres med 5-15 kg pr. ha på grund af bindingen af kvælstof fra jorden (Christensen og Schjønning, 1987; Kristensen et al., 2022). Denne sammenhæng er også fundet i et forsøg på Aarhus Universitet, men tendensen er ikke stor nok til at der er signifikant forskel på kvælstofudvaskningen med og uden halmnedmuldning (Hansen et al., 2010). Gentagen halmnedmuldning giver generelt ikke et øget udbytte. Til gengæld risikeres et udbyttetab på op til tre hkg kerne pr. ha, hvis halmen placeres som halmstrengte fremfor at være jævnt fordelt på marken (Christensen og Schjønning, 1987).

Flere studier har vist, at der over flere år generelt ikke er signifikant forskel på udvaskningen fra marker, hvor der er efterladt halm på marken i forhold til marker, hvor halmen er fjernet (Hansen et al., 2010). Det kan skyldes, at en del af det kvælstof, der immobiliseres om efteråret, mineraliseres i de kommende år. Aarhus Universitet har undersøgt to sædskifter med og uden fjernelse af halm (Tabel 4 – Foulum og tabel 5 - Flakkebjerg), hvorfra kvælstofudvaskningen er blevet målt. Af begge tabeller ses det, at der generelt ikke er en signifikant mindre udvaskning fra jorde, hvor halmen er blevet efterladt på marken (led R2 og R4), og der er sket hhv. overfladisk (H_{3-4}) eller dyb harvning (H_{8-10}), om afgrøden er sået direkte (D) eller jorden er pløjet (P). I led R4 er der ikke signifikant forskel på kvælstofudvaskningen ift. halmnedmuldning eller ej under de forskellige dyrkningssystemer. Dette ikke-signifikante resultat er ens for alle tre år på begge lokaliteter (Hansen et al., 2010).

Table 4
Nitrogen leaching (kg N ha⁻¹) and percolation (mm) at Foulum during three leaching periods (1 July–30 June).

Crop rotation	R2			R3			R4		
	Straw			Straw			Straw		
	Left			Removed			Left		
Crops	W. rape	W. wheat	W. wheat	S. barley/CC	Peas	W. wheat	S. barley/CC	Peas	W. wheat
Leaching period	2003–04	2004–05	2005–06	2003–04	2004–05	2005–06	2003–04	2004–05	2005–06
Treatment	Leaching								
P	12	34 ^c	41	23	55	54	17	66	60
H ₈₋₁₀	12	54 ^{ab}	49	19	50	38	16	58	48
H ₃₋₄	11	45 ^{bc}	34	21	58	66	22	57	54
D	24	65 ^a	45	21	40	42	22	61	46
LSD ₀₅	ns	15.9	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Percolation								
All treatments	220	351	214	233	367	237	233	367	237

CC, catch crop of undersown perennial ryegrass.

Values within a column followed by the same letter are not significantly different.

Table 5
Nitrogen leaching (kg N ha⁻¹) and percolation (mm) at Flakkebjerg during three leaching periods (1 July–30 June).

Crop rotation	R2			R3			R4		
	Straw			Straw			Straw		
	Left			Removed			Left		
Crops	W. rape	W. wheat	W. wheat	S. barley/CC	Peas	W. wheat	S. barley/CC	CC/Peas	W. wheat
Leaching period	2003–04	2004–05	2005–06	2003–04	2004–05	2005–06	2003–04	2004–05	2005–06
Treatment	Leaching								
P	12 ^b	40	28	30	34	50 ^a	33	23	44
H ₈₋₁₀	24 ^{ab}	30	25	20	27	29 ^b	38	26	39
H ₃₋₄	33 ^a	44	32	28	28	26 ^b	28	21	32
D	38 ^a	34	32	23	24	30 ^b	32	24	26
LSD ₀₅	15.2	ns	ns	ns	ns	7.7	ns	ns	ns
	Percolation								
All treatments	208	154	114	212	189	144	212	189	144

CC, catch crop of undersown perennial ryegrass.

Values within a column followed by the same letter are not significantly different.

^a P = 0.08.

P = pløjet, H₈₋₁₀ = harvet i 8-10 cm's dybde, H₃₋₄ = harvet i 3-4 cm's dybde, D = direkte såning.

I vårbyg er effekten af halmnedmuldning undersøgt i et langvarigt forsøg i årene 1981-2019 på en JB 4-6-jord. På denne jordtype havde det ingen betydning for udbyttet eller kvælstofoptagelsen, om halmen blev pløjet ned om efteråret eller om foråret. Dermed angives det, at der ikke har været forskel på kvælstofudvaskningen (Jensen et al., 2021).

Der findes ikke danske forsøg, der viser, at der er en entydig effekt på kvælstofudvaskningen af halmnedmuldning.

Jordbearbejdning

Danmarks Statistik opgjorde i 2018, at ca. 2,6 mio. ha blev dyrket i Danmark. Heraf blev ca. 1,6 mio. ha pløjet og 356.000 ha blev dyrket pløjefrit. Det øvrige areal omfatter afgrøder uden for omdriften og græs. Pløjning foretages på alle jordbundstyper, mens pløjefri dyrkning primært praktiseres på veldrænede JB 3-4 jorde eller lerjorde af jordtypen JB 5-8, hvor jordene ikke har tendens til at pakke sammen i samme omfang som sandjorde med højt indhold af silt. Pløjefri dyrkning dækker over forskellige dyrkningspraksisser, hvor spændet mellem reduceret jordbearbejdning og direkte såning defineres af karakteren af jordbearbejdning.

Få danske forsøg har beskrevet effekten på kvælstofudvaskningen under danske forhold i dyrkningssystemer, hvor der er gjort brug af reduceret jordbearbejdning og direkte såning. I kornbaserede sædskifter er der ikke fundet en systematisk effekt af reduceret jordbearbejdning og direkte såning på kvælstofudledningen. I Virkemiddelkataloget 2020 (Eriksen et al., 2020) angives, på baggrund af de såkaldte CENTS-forsøg på Foulum og Flakkebjerg, at der i Foulum (JB4) er fundet: "at direkte såning har givet højere udvaskning end reduceret jordbearbejdning og pløjning i et sædskifte domineret af vinterafgrøder. Derimod har reduceret

jordbearbejdning (harvning 8-10 cm) og direkte såning givet lavest kvælstofudvaskning i et alsidigt sædskifte med vinter- og vårafgrøder og fjernelse af halm, mens der ikke var forskel på udvaskningen i samme sædskifte uden fjernelse af halm. På Flakkebjerg (JB6) er der generelt ingen sikker effekt af jordbearbejdning på kvælstofudvaskningen.” Tabel 9.1 viser de målte udvaskninger fra Foulum og Flakkebjerg i pløjet jord, jord der er dyrket med reduceret jordbearbejdning med harvning og direkte såning.

Tabel 9.1. Udvasning i CENTS forsøgene 2003-2011 og 2011-2018, kg N pr. ha pr. år på tværs af sædskifter (Eriksen et al., 2020)

Jordbearbejdning	Foulum (JB4) ¹⁾		Flakkebjerg (JB6)	
	2003-11	2011-18	2003-11	2011-18
Pløjet	42a	77a	29a	29a
Red. jordb. (harvet 8-10 cm)	40a	65a	28a	25a
Direkte såning	45a	77a	28a	29a

¹⁾ For Foulum var der i vinterafgrødesædskiftet tendens til højest udvaskning for direkte såning og lavest for reduceret i 2011-18. I alsidigt sædskifte uden halm var der lavest udvaskning for direkte såning i 2011-18.

Måden hvorpå planterester håndteres og jordbearbejdning i perioden fra høst af afgrøden forud for vintersæd, og indtil vintersæden etableres, må forventes at have indflydelse på udvaskningen om efteråret og den efterfølgende vinter. Mængden af kvælstof, der frigives fra jorden, ventes at være større, desto tidligere jorden bearbejdes og desto kraftigere jordbearbejdning der anvendes ved den større omsætning af organisk stof. Samtidig vil kraftig jordbearbejdning også hindre kvælstofoptagelsen i spildfrø og ukrudt. En overfladisk jordbearbejdning efter høst, hvor jorden ikke røres yderligere før etablering af vintersæden, kan fremprovokere fremspiring af spildfrø og ukrudt og dermed have en udvaskningsreducerende effekt. Kemisk bekæmpelse af ukrudt og spildkorn i perioden fra høst til etablering af vintersæd vil også påvirke udvaskningen ved at påvirke kvælstofoptagelsen i ukrudt og spildkorn. I forbindelse med direkte såning foretages stort set altid en kemisk nedvisning af ukrudt og spildkorn, og hvis den foretages tidligt, vil kvælstofoptagelsen i ukrudt og spildkorn blive minimal (Kristensen et al., 2022).

Hvis kvælstofmineraliseringen reduceres som det er tilfældet ved direkte såning, vil kvælstofoptagelsen om efteråret blive mindre. Vintersæden vil også udvikles langsommere. Ved pløjning ses en hurtigere udvikling af vinterafgrøden, hvilket skyldes, at jorden opnår en højere temperatur i overfladen efter pløjning. Det kan formodentligt være medvirkende, at der er en større frigivelse af kvælstof sammenlignet med dyrkningsystemer, hvor afgrøden er sået direkte uden jordbearbejdning. I pløjefri systemer øges vandgennemstrømningen gennem makroporer, mens flere mikroorganismer øger omsætningen af organisk stof, hvilket kan være med til at øge risikoen for en øget kvælstofudvaskning i pløjefri systemer (Kristensen et al., 2022).

Tabel 9.2. Vurderet udvaskningsrisiko ved forskellige jordbearbejdnings- og etableringssystemer (* øget risiko)

Fra kort tid efter høst til etablering	Ved etablering	Relativ udvaskningsrisiko
*Ingen eller overfladisk jordbearbejdning	Pløjning	***
	Direkte såning	**
Tidlig kemisk nedvisning	Pløjning	****
	Direkte såning	***
Kraftig stubbearbejdning eller tidlig pløjning	Pløjning	*****
	Direkte såning	****

Referencer

- Allison, M. F., Armstrong, M. J., Jaggard, K. W., Todd, A. D., & Milford, G. F. J. (1996). An analysis of the agronomic, economic and environmental effects of applying N fertilizer to sugarbeet (*Beta vulgaris*). *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 127, 475-486.
- Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M., Houlborg, T., Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2023. Landovervågningsoplande 2021. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 526.
<http://dce2.au.dk/pub/SR526.pdf>
- Blicher-Mathiesen, Gitte (2022): "LOOP:Målte nitratkoncentrationer og udvaskning fra marker med korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder." i Vidensyntese om kvælstofudvaskning fra vintersæd kontra efterafgrøder. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/6/a/kvalstofudvaskning_efterafgroder_vidensyntese.pdf
- Christensen, B. T. og Schjøning, P. (1987). Nedmuldning af halm. *Tidsskrift Planteavl* 91, Statens Planteavlssforsøg, pp. 297-300. https://dcapub.au.dk/pub/planteavl_91_297.pdf.
- Dieser, M., Zieseniß, S, Mielenz, H., Müller, K., Greef, J-M., Stever-Schoo, B., 2023, Nitrate leaching potential from arable land in Germany: Identifying most relevant factors. *Journal of Environmental Management*, Elsevier, pp. 345-356. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118664>.
- Engström, Stenberg, Aronsson, Lindén. Reducing nitrate leaching after winter oilseed rape and peas in mild and cold winters. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31 (2), pp.337-347. 10.1051/agro/2010035. hal-00930464
- Eriksen, J., Thomsen, K. I., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, H. B. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jorgbrug. 452 s. - DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- Hansen, E. M., Munkholm, L. J., Melander, B., Olesen, J. E. (2010). Can non-inversion tillage and straw retention reduce N leaching in cereal-based crop rotations? Elsevier. *Soil & Tillage Research*. Vol. 109. Pp. 1-8.
- Henke, J., Böttcher, U., Neukam, D., Sieling, K., & Kage, H. (2008). Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using a simulation model. [Nutrient Cycling in Agroecosystems](https://doi.org/10.1016/j.ageos.2008.05.001), 82(3), 299-314¹
- Hvid, S. K. (2023), Greenhouse Gas Emissions from rapeseed production. SEGES Innovation, 32 s.
- Jensen, J. L., Thomsen, I. K., Eriksen, J., Christensen, B. T. (2021). Spring barlet grown for decades with straw incorporation and cover crops: Effects on crop yields and N uptake. Elsevier. *Field Crops Research*. Vol. 270. 9 pp. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108228>

- Knudsen, L., Nielsen, K. F. (2022). Værdi af næringsstoffer i halm. https://www.landbrugsinfo.dk/basis/a/8/4/afgroder_vardi_af_naringsstoffer_i_halm
- Kristensen, N. H., Knudsen, L., Hansen, E. M., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, L. S., Abrahamsen, P., Christensen, J. T. (2022). Vidensyntese om kvælstofudvaskning fra vintersæd kontra efterafgrøder. Rapport. SEGES Innovation. 58 pp. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/6/a/kvalstofudvaskning_efterafgroder_vidensyntese.pdf.
- Kristensen, N. H., Knudsen, L., Hansen, E. M., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, L. S., Abrahamsen, P., Christensen, J. T. (2022). Vidensyntese om kvælstofudvaskning fra vintersæd kontra efterafgrøder. Rapport. SEGES Innovation. 58 pp. https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/public/8/6/a/kvalstofudvaskning_efterafgroder_vidensyntese.pdf.
- Kristensen 2023: Effekt af gylle- og efterafgrødestrategier på kvælstofudvaskning og majsudbytte i 12 forsøg. https://www.landbrugsinfo.dk/basis/d/7/7/afgroder_forsog_gylle_efterafgrodestrategier_kvalstofudvaskning_m_ajsudbytte
- Nielsen, O. og Börjesdotter, D. (2023): Anvendelse af biomasse fra efterafgrøder og roetop fra Nordic Beet research. Nordic Beet Research 2023
- Olesen, J. E., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang, B., ... Petersen, S. O. (2020). SR4NOVANArapport 2020: Status for kvælstofudvaskning fra landbrugsjord i Danmark (SR4NOVANArapport 2020). Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Olsson, R., & Bramstorp, A. (1998). Fate of nitrogen from sugar-beet tops. Proceedings of the 61st IIRB Congress, 23-25 June 1998, 177-186. Interlaken, Switzerland.
- Pedersen, J. B. (redaktør), Oversigt over Landsforsøgene 2011, Videncentret for Landbrug, Planteproduktion, 443 s.
- Ruijter, F.J., ten Berge, H.F.M., & Smit, A.L. (2007). The Fate of Nitrogen from Crop Residues of Broccoli, Leek and Sugar Beet. Acta Horticulturae, 761, 123-130. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.761.13>.
- Stahl, A., Pfeifer, M., Frisch, M., Wittkop, B., & Snowdon, R. J. (2017). Recent genetic gains in nitrogen use efficiency in oilseed rape. [Frontiers in Plant Science, 8, 963¹](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01142)
- Sieling, K., Kage, H., 2010. Efficient N management using winter oilseed rape. A review. Agronomy for Sustainable Development, nr. 30, pp. 271-279.
- Vogeler, I., Böldt, M., & Taube, F. (2023). Mineralisation of catch crop residues and N transfer to the subsequent crop. [Science of the Total Environment, 810, 152142¹](https://doi.org/10.1007/s11368-023-04142-1)
- Westerschulte, M., Federolf, C.-P., Trautz, D., Broll, G., & Olf, H.-W. (2017). Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: soil mineral nitrogen. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 107, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9799-5>.