

Udvaskning og kvælstofbalancer i SEGES' forsøg med sugeceller

Forfatter(e): Henrik Vestergaard Poulsen^a og Leif Knudsen^a

^a Plante- og MiljøInnovation, SEGES

Indsæt logo på samarbejdspartner, fond

PAF

Hovedkonklusion/ sammendrag

Ud fra 17 fastliggende landsforsøg i perioden 2015-19 er det ikke muligt at konkludere, om eftervirkning af handelsgødning påvirker kvælstofudvaskningen. Ifølge den eksisterende viden på området, vil effekten på udvaskningen også være ganske beskeden; 3 til 4 kg N/ha højere udvaskning i led tilført 300 kg N/ha sammenlignet med led tilført 200 kg N/ha, sammenlignet med de forskelle, som eksempelvis de forskellige års klima (især nedbør/afstrømning) og afgrøde indvirker på udvaskningen. Beregningerne af samlede kvælstofregnskaber, inkluderende alle til- og fraførselsposter, viste, at der ved kvælstoftilførsel op til normen sker en netto-frigivelse fra jordens kvælstofpulje på både ler- og sandjord. Ved kvælstoftilførsel over ca. 10% af N-normen var der i gennemsnit et kvælstofoverskud, hvilket dog på især lerjord afhænger meget af den estimerede denitrifikation.

De altdominerende poster i kvælstoffraførsel på sandjord er kerne/frø, evt. bjærget halm og udvaskning. På sandjord beregnedes disse poster til at udgøre over 94% af det samlede tab ved kvælstoftilførsler over 150 kg N/ha. På lerjord kan tabet ved denitrifikation desuden udgøre en væsentlig post, her beregnet til alene at udgøre >10 % af det samlede tab ved kvælstoftilførsler over 150 kg N/ha. Analysen er foretaget på de samlede resultater fra SEGES' sugecelleforsøg, 2015-2020, med stigende kvælstoftilførsel. I forsøgene er der målt udbytte, mens udvaskningen er beregnet ved sugecellemetoden.

Introduktion

SEGES har siden 2015 udført forsøg med sugeceller til måling af kvælstofudvaskning ved stigende kvælstoftilførsel. Forsøgene er fastliggende på lokaliteter spredt over landet, således repræsenterende både forskellige jordtyper og nedbørsregioner. Da forsøgene er placeret i praktisk dyrkede marker, følges markens sædskifte, hvilket desuden giver en variation i afgrøder og sædskifter.

Der foreligger nu mellem 3 og 5 års bestemmelse af udvaskning og måling af udbytter ved forskellige niveauer af kvælstoftilførsel, og det er interessant at se, om der i resultaterne efterhånden ses en effekt af flere års kontinuert mergødsning, samt at analysere kvælstoffets skæbne i marksystemet som funktion af de forskellige kvælstoftilførselsniveauer: Samspillet mellem kvælstoftilførsel, kvælstofbortførsel med afgrøden, kvælstofudvaskningen, denitrifikation og ændringer i jordens kvælstofpulje – alle som funktion af forskellige kvælstofniveauer.

Materialer og metoder

Forsøgsresultaterne er beskrevet årligt i 'Oversigten over Landforsøgene' 2016-2020. Det er vigtigt at bemærke, at kvælstofudvaskningen opgøres for 'hydrologiske år' gående fra 1. april til 31. marts året efter. Forsøgene de enkelte år benævnes ved høståret og afgrøden til høst, men udvaskningsmålingerne strækker sig altså hen over efterår og vinteren efter høst. I Tabel 1 nedenfor ses en oversigt over forsøgenes placering og varighed.

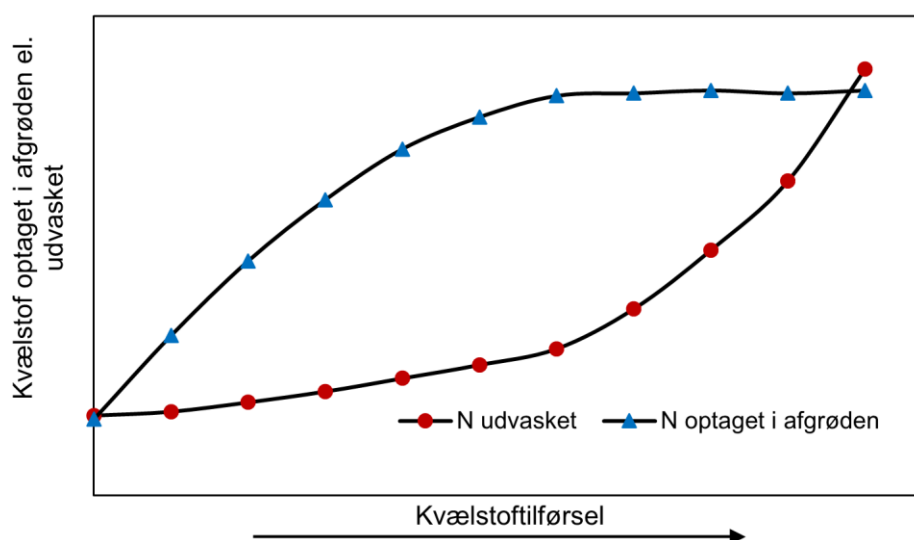
På alle forsøgsarealerne er der installeret to keramiske sugeceller pr. forsøgsparece i 1 meters dybde. Sugecellerne anvendes til at udtage prøver af det afstrømmende jordvand, der analyseres for nitrat. Jordvandskoncentrationerne omsættes til nitratudvaskning ved at gange de målte nitratkoncentrationer med vandafstrømningen, som beregnes ud fra nedbør, jordtype og afgrøde på arealet.

Tabel 1. Oversigt over forsøg.

Forsøgserie	Placering	Varighed	Jordtype	Kvælstofniveauer	Afgrødeskvens	Efterårs bevoksning	Bemærkninger forsøg
0701317-17/18/19	Jyderup	2017-2019	JB4	4	Vinterrug	Vintersæd	2017: Manglende målinger vinter 2018
					Vinterrug	Vintersæd	2019: Etablering af vinterrug for dårlig i efteråret 2018
					Vårbyg	Vintersæd	– afgrøde ændret til vårbyg.
0701417-17/18/19	Ringsted	2017-2019	JB6	6	Vinterbyg	Vinterraps	Sen afstrømning vinter 2019: Usikre udvaskninger.
					Vinterraps	Vintersæd	
					Vinterhvede	Vintersæd	
0702715-15/16/17/18/19	Holstebro	2015-2019	JB1	7	Vinterhvede	Vintersæd	Forhistorie med husdyrgødning.
					Vinterhvede	Vintersæd	Sugeceller nedsat efterår 2015. Afstrømning sommer/efterår 2015: Usikre udvaskninger.
					Triticale	Vintersæd	Stærk tørkepåvirkning 2018
					Vinterrug	Vintersæd	
					Vinterrug	Vintersæd	
0702815-15/16/17/18/19	Guldborg	2015-2019	JB7	7	Vinterhvede	Spildkorn	Sugeceller nedsat efterår 2015.
					Sukkerroer	Bar jord	Skæbne sukkerroe-top i 2016 ukendt.
					Vårbyg	Vintersæd	Sen afstrømning vinter 2019: Usikre udvaskninger.
					Vinterhvede	Efterafgrøde	
					Sukkerroer	Bar jord	
0709617-17+19	Odder	2017+2019	JB6	7	Vinterhvede	Vintersæd	Efterår 2017 ringe afgrøde.
					Vinterhvede	Vintersæd	2018 fejlgødsket.

Resultater og diskussion

Udvaskningsforsøg med stigende kvælstoftilførsel fokuserer på at bestemme både den absolutte kvælstofudvaskning ved en given kvælstoftilførsel og marginaludvaskningen, der udtrykker hvor stor en del af det sidst tilførte kg kvælstof udvaskes - eller udtrykt på en anden måde: Hvor meget ændrer kvælstofudvaskningen sig op eller ned, når man enten tilfører mere eller mindre kvælstof ved et givet kvælstofniveau. Både forsøgene med stigende kvælstoftilførsel, som behandles her, og lignende forsøg udført andre steder, viser omtrunt det samme billede af udvaskning som funktion af kvælstoftilførsel – se generelt eksempel på kvælstofudvaskning som funktion af kvælstoftilførsel i Figur 1.

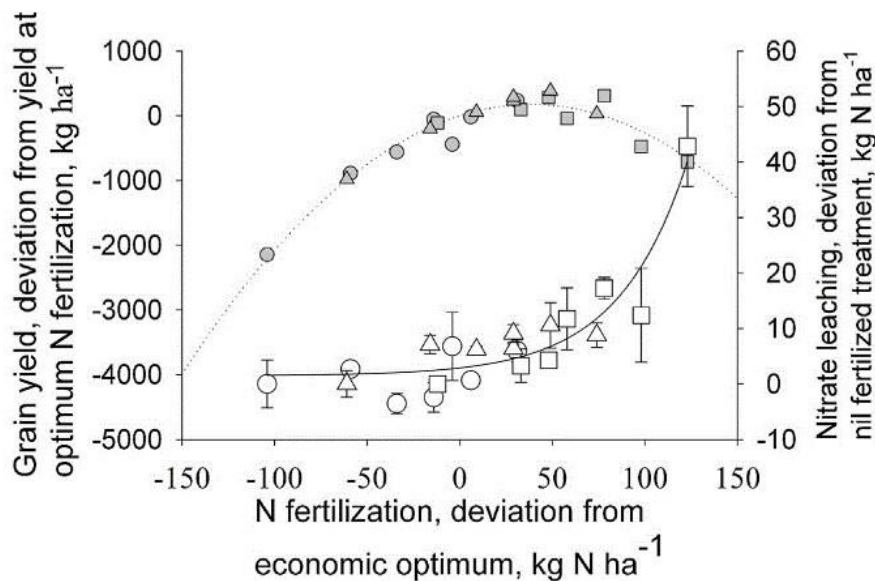


Figur 1. Generelt billede på sammenhængen kvælstofoptag i afgrøde, kvælstofudvaskning og kvælstoftilførsel.

[Figurer rapport\Fig1.png](#)

Tilført kvælstof, i mængder under hvad afgrøden er i stand til at optage, har vist sig oftest kun at føre til en ringe stigning i kvælstofudvaskning. Det skyldes en effektiv optagelse i de kvælstofbegrænsede planter, der stort set ikke efterlader noget af det tilførte uorganiske kvælstof i jorden efter høst (Cameron et al. 2013). Når kvælstoftilførslen nærmer sig afgrødens maksimale optag stiger udvaskningen. Det forklares ved en stigende mængde kvælstof bundet i den biomasse, som efterlades i marken og mineraliseres efter høst, samt eventuelt en stigende mængde efterladt ikke-optaget kvælstof stammende fra kvælstoftilførsel om foråret - hvilke begge bidrager til udvaskningen. Tilføres kvælstof i mængder over afgrødens maksimale optag, vil der være et overskud af uorganisk kvælstof i jorden efter høst. Overskuddet af uorganisk gødningskvælstof vil være meget udsat for at kunne udvaskes i den efterfølgende afstrømningsperiode, hvilket ses som en kraftig stigning i kvælstofudvaskning ved de højeste kvælstoftilførsler.

I Figur 2 illustreres udvaskning og kerneudbytte som funktion af stigende kvælstoftilførsel, som det viste sig i en svensk undersøgelse med udvasknings- og udbyttmålinger over tre års forsøg med kornafgrøder (Delin et al. 2014). Det ses, at i de forsøg begyndte udvaskningen at stige kraftigt, når der blev tilført ca. 50 kg N/ha mere end den økonomisk optimale mængde, hvilket, det ses i figuren, er ca. sammenfaldende med den mængde kvælstof, som giver det maksimale kerneudbytte.



Figur 2. (Figur 3 Delin et al. 2014). Kerneudbytte vist som afvigelse fra udbytte ved optimal kvælstoftilførsel, samt kvælstofudvaskning vist som afvigelse fra ugødet behandling, begge som funktion af kvælstoftilførsel vist som afvigelse fra økonomisk optimal tilførsel.

[Figurer rapport\Fig2.jpg](#)

Det er vigtigt at understrege, at der, trods et generelt enslydende billedede blandt publicerede forsøgsresultater indenfor området, er stor variation i de nævnte sammenhænge mellem udvaskning, udbytte/kvælstofoptag og kvælstoftilførslen, hvilket kan tilskrives jordtype-, afgrøde- og klimatiske forhold, som alle også har indvirkning på udvaskningen.

Resultater fra forsøgene, som behandles her, er præsenteret i detalje år for år i 'Oversigten over landsforsøgene' 2015-2020, mens resultater fra lignende forsøg kan findes i litteraturen, bl.a: Delin et al. 2014; Lord og Mitchell 1998 og Simmelgaard og Djurhuus 1998.

Langtidseffekt af tilført mineralsk kvælstof.

Et af formålene med nærværende analyse er at undersøge, hvordan udvaskningen og marginaludvaskningen af kvælstof udvikler sig over flere år med stigende tilførsel af kvælstof.

Kvælstof udvaskes fra rodzonen, når vandindholdet i jorden, pga. nedbør eller vanding, overstiger jordens vandholdende kapacitet, og der sker afstrømning af vand indeholdende kvælstof nedefra rodzonen til grundvand eller gennem dræn. Mængden af udvasket kvælstof afhænger i høj grad af, hvor meget udvaskbart kvælstof – i hovedsagen nitrat – der er til stede i rodzonen, når der sker afstrømning, samt hvor stor afstrømningen er. Puljen af nitrat, som potentielt kan udvaskes, stammer altovervejende enten fra mineralisering af organisk bundet kvælstof i jorden, deposition fra luften eller direkte fra kvælstoftilførsel, hvis den overstiger afgrødens optagelse.

Stigende tilførsel af kvælstof vil føre til et øget input af organisk kvælstof til jorden i form af organisk kvælstof i rod, stubrester, halm og rodexudater efterladt i marken. Det organiske kvælstofinput vil mineraliseres over mange år med aftagende hastighed, og bidrage til såvel kvælstofudvaskning, som til afgrødeoptag af kvælstof i årene efter dets tilførsel (Børgesen et al. 2020).

I afrapporteringen over NLES5-udvaskningsmodellen (Børgesen et al. 2020) og en vidensopsamling omkring langtidseffekter af kvælstoftilførsel (Sørensen et al. 2019) opsummerer Aarhus Universitet danske og udenlandske undersøgelser. Her citeres forsøg, som viser, at ca. 30 % af mineralsk kvælstof tilført vårkorn kan genfindes i jorden i efteråret efter tilførsel, faldende til 20-25 % efter 3 år, mens forsøg med vinterkorn tilsvarende viser ca. 17 % første efterår og ca. 10-12 % efter tre år. Kun få forsøg til belysning af dette spørgsmål strækker sig ud over de tre år, men i et forsøg i vinterhvede blev ca. 50% det efterladte kvælstof i jorden i 1. år genfundet i jorden efter 5 år (Hart et al. 1993).

Med baggrund i ekspertskøn over den tidlige fordeling i kvælstofmineraliseringen, afgrødeoptaget og afstrømningen over året, vurderes i Sørensen et al. (2019), at gennemsnitligt 33 % af det mineraliserede kvælstof udvaskes. Baseret på dette og resultaterne af en større engelsk undersøgelse (Hart et al. 1993), foretages en beregning af eftervirkningen af mineralsk kvælstof i vår- og vinterkorn frem til 10 år efter tilførsel (Sørensen et al. 2019). Her vises Tabel 5 fra Sørensen et al. (2019) for vinterkorn:

Tabel 2. (Tabel 5 Sørensen et al. 2019). Beregning af eftervirkning af mineralsk kvælstof tilført til vinterkorn baseret på målt genfindelse af ¹⁵N-mærket gødning i de efterfølgende 4 afgrøder (fra Hart et al. 1993), samt skønnet frigivelse i år 5-10 efter tilførsel. Det antages at den årlige mineralisering af residual N er 3 gange så høj som genfindelsen i afgrøden.

År efter tilførsel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Residual N fundet i afgrøde, %		6,6	3,5	2,2	2,2	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineralisering af residual N, %		19,8	10,5	6,6	6,6	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Residual N, % af N input	17	13,6	11,8	10,7	9,6	9,1	8,8	8,6	8,3	8,1
Kum. mineralisering af residual N, % af input		3,4	5,2	6,3	7,4	7,9	8,2	8,4	8,7	8,9
Kum. udvaskning, % af input		1,1	1,7	2,1	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0

^a Det er antaget at 1/3 af det mineraliserede N gennemsnitligt udvaskes.

^b Residual N er gennemsnitlig genfindelse af tilført kvælstof i jord efter høst af første afgrøde.

I Tabel 3 nedenfor eksemplificeres eftervirkningen på udvaskningen, angivet i Tabel 2 ovenfor, omregnet til kg N/ha for vinterhvede tilført henholdsvis 200, 250 og 300 kg N/ha i år 2 til 6 efter tilførsel – svarende til den ene af de to længste af forsøgsserierne (Holstebro) behandlet her. Det skal dog bemærkes, at en sådan beregning forudsætter, at kvælstofoptagelse og fordelingen i afgrøden opfører sig ens ved 200 kg N/ha, altså nær norm-tilførsel, og ved 300 kg N/ha, markant over afgrødens behov.

Tabel 3. Beregnet eftervirkning på kvælstofudvaskning i år 2-6 efter tilførsel i år 1 for 3 niveauer af kvælstof-tilførsel.

År efter tilførsel	2	3	4	5	6
Vinterkorn tilført 200 kg N/ha, kg N/ha	2,2	1,2	0,8	0,8	0,2
Vinterkorn tilført 250 kg N/ha, kg N/ha	2,8	1,5	1,0	1,0	0,3
Vinterkorn tilført 300 kg N/ha, kg N/ha	3,3	1,8	1,2	1,2	0,3

Det ses, at den beregnede langsigtede udvaskning af mineraliseret kvælstof tilført i år 1 generelt er lille, og den absolutte forskel mellem en kvælstoftilførsel på 200 og 300 kg N/ha, andet år efter tilførsel, kun er ca. 1 kg N/ha og faldende. Men, udvaskningerne af kvælstof, angivet i Tabel 3, gælder kun kvælstoffet tilført i år 1. I forsøgsserierne her i analysen vil der være tale om målinger på 3-5 års tilførsel. Beregnes der en kumuleret udvaskning af det tilførte kvælstof alle år frem til det 6. år, vil der her være en eftervirkning på udvaskning på 4,0 og 7,8 kg N/ha af det tilførte kvælstof over perioden ved tilførsel på henholdsvis 200 og 300 kg N/ha.

Sammenholdt med variationer i udvaskning mellem årene på grund af klimaforskelle, samt målesikkerheden alene, virker det usandsynligt, at det skulle være muligt at se en langtidseffekt på udvaskningen mellem de norm-gødskede og de kontinuert mer-gødskede forsøgsled, når man ser på den beregnede langtidseffekt i Tabel 3. Udvasningen påvirkes så markant af nedbør/afstrømning og afgrøde de enkelte år, at så små forskelle må antages at forsvinde.

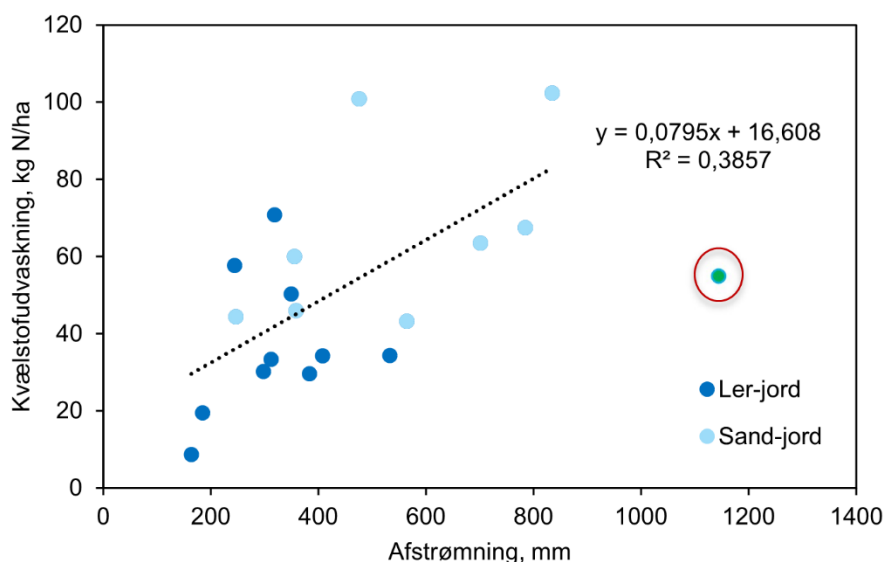
Det skal, som nævnt ovenfor, tilføjes, at kvælstoftilførsel nær og over afgrødens maksimale optag vil føre til en øget mængde uudnyttet kvælstof efter høst (Børgesen et al. 2020). På sandjord vil dette sandsynligvis kun have en effekt på udvaskningen i afstrømningsperioden efter høst (samme udvaskningsår), idet det generelt kan antages, at sandjord "vaskes ren" for kvælstof i afstrømningsperioden. På lerjord kan det ikke udelukkes, at der i år med ringe afstrømning kan være kvælstof, som "overføres" fra et afstrømningsår til det næste. Dette skyldes primært, at lerjord kan tilbageholde en meget stor vandmængde, sammenlignet med sandjord (Knudsen 2017). Det er uvist, men nok usandsynligt, om der på denne måde kontinuert over flere år vil blive opbygget en effekt på udvaskningen af uoptaget mineralsk kvælstof tilført som gødning.

Kvælstofudvaskning

Teorien viser, at man vil forvente en stigende kvælstofudvaskning, som effekt af flere års kontinuert mer-gødsning. Dette skyldes en relativt større opbygning af den organiske kvælstofpulje, førende til en større mineralisering og deraf følgende øget kvælstofudvaskning ved øget kvælstoftilførsel. For at kunne se en sådan effekt over årene er det nødvendigt at være opmærksom på og eventuelt søge at eliminere de øvrige faktorer, som har betydning for kvælstofudvaskningen:

Udvaskning vs. afstrømning og jordtype.

Afstrømningens effekt på udvaskningen er klar, da udvaskningen beregnes som produktet af afstrømningen og kvælstof-koncentrationen målt i jordvandet. I Figur 3 nedenfor er afbilledet den beregnede udvaskning ved norm-kvælstoftilførsel som funktion af den beregnede afstrømning for alle forsøg alle år.



Figur 3. Kvælstofudvaskning beregnet ved kvælstof norm-tilførsel som funktion af den beregnede afstrømning på henholdsvis ler- og sandjord. Indtegnet er lineær regressionslinje, som ikke inkluderer punktet markeret med rød ring.

[Figurer rapport\Fig3.png](#)

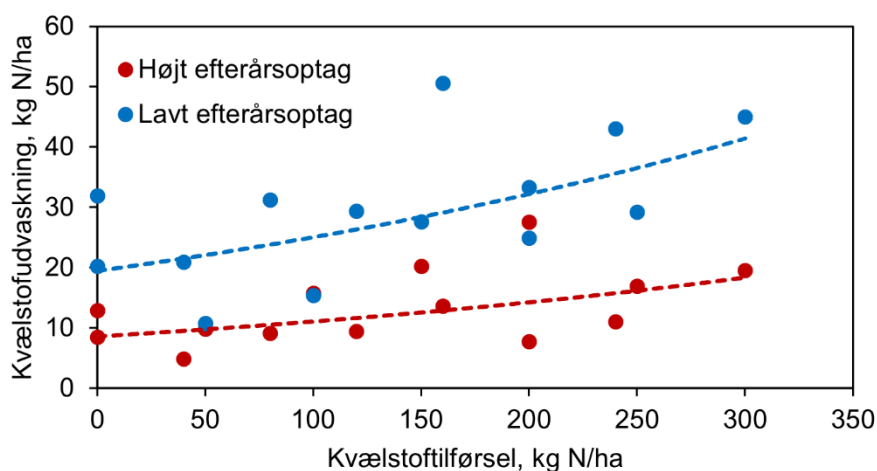
Af figuren ses, at der på tværs af afgrøder, jordtyper og år er en positiv sammenhæng mellem udvaskningen og afstrømningen de enkelte år. Det ses ligeledes, at afstrømningen og udvaskningen generelt er højere på

sandjord end på lerjord, hvilket skyldes en større vandholdende kapacitet i lerjord og at størstedelen forsøgene på sandjord er placeret i egne af landet med større nedbørsmængder.

Det skal også bemærkes, at punktet markeret med en rød ring ikke indgår i regressionen i figuren. Den meget høje afstrømning, men moderate udvaskning, i dette punkt, skal sandsynligvis tolkes sådan, at udvaskningen naturligvis ikke fortsat stiger med afstrømningen, når al kvælstof er udvasket.

Udvaskning vs. afgrøde

Udvaskningen afhænger, udover jordtype og afstrømning, også i høj grad af afgrøden – både hovedafgrøden, men særligt også bevoksningen i efteråret. I Figur 4 vises udvaskningen for alle kvælstofniveauer i 2015-2018 i forsøget ved Guldborg på JB7, fordelt på afgrøde/afgrødekombinationer med henholdsvis højt og lavt kvælstofoptag i efteråret.



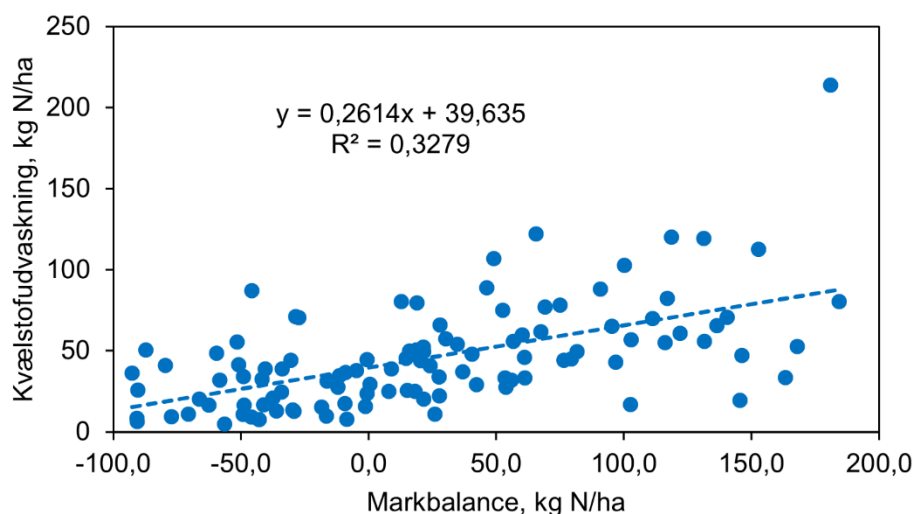
Figur 4. Kvælstofudvaskning som funktion af kvælstoftilførsel fra 4 forsøgsår i Guldborg. Dataserien 'Højt efterårsoptag' er sukkerroer i 2016 og vinterhvede med efterafgrøde i 2018, men serie 'Lavt efterårsoptag' er vinterhvede efterfulgt af vinterhvede i 2015 og vårbyg efterfulgt af vinterhvede i 2017. Der er indsat eksponentielle regressionslinjer.

[Figurer rapport\Fig4.png](#)

Det ses i Figur 4 ovenfor, at kvælstofudvaskningen er meget afhængig af afgrøden. Udvaskningen i de viste forsøg er lavest og påvirkes mindst af kvælstoftilførslen, når der er et højt kvælstofoptag i efteråret, her repræsenteret ved sukkerroer og en efterafgrødeblanding af Olieræddike og Gul sennep. Forsøg har vist, at et kvælstofoptag langt ind i efteråret efterlader en mindre kvælstofmængde til potentiel udvaskning (Eriksen, et al. 2020). Det skal naturligvis bemærkes, at der imellem årene er forskelle i afstrømning, som også påvirker udvaskningen.

Udvaskning vs. kvælstofbalance

Som det er nævnt tidligere, må det antages, at der er en sammenhæng mellem markbalancen for kvælstof og udvaskningen, da et stort kvælstofoverskud efterlader en stor mængde kvælstof, som potentielt kan udvaskes og omvendt. Det forudsætter imidlertid, at sammenligningen sker i samme sædskifte. I Figur 5 ses kvælstofudvaskningen for alle behandlinger som funktion af markbalance; tilført kvælstof minus kvælstof fraført i planteprodukter. Det ses, at der er en positiv sammenhæng mellem markbalancen og kvælstofudvaskningen på tværs år, afgrøder og jordtyper.



Figur 5. Kvælstofudvaskning som funktion af markbalancen i alle forsøg. Markbalancen er her regnet som tilført kvælstof i gødning og ved deposition minus kvælstof fraført med planteprodukter. Der er indsat lineær regressionslinje.

[Figurer rapport\Fig5.png](#)

Det skal nævnes, at i forsøgene har niveauerne af kvælstoftilførsel, med få afvigelser, været holdt konstant igennem alle forsøgsår. Da afgrøderne veksler fra år til år, vil markbalancen for kvælstof i de enkelte led, alt andet lige, være meget afhængig af afgrøden, da eks. en vårbyg-afgrøde ikke kan forventes at fjerne samme mængde kvælstof som eks. en vinterhvede-afgrøde. Dette komplicerer billedet yderligere, hvis man som her vil sammenligne udvaskningen mellem år, hvor kvælstofbalancen må forventes at variere meget.

I konklusion kan det, med baggrund i de tre figurer ovenfor, opsummeres, at det vil være vanskeligt at erkende en eventuel stigning i målt udvaskning, som følge af flere års mergødsning, hvis:

- Der sammenlignes på tværs af afgrøder og efterårsplantedække
- Der sammenlignes på tværs af jordtyper
- Forskelle i afstrømning ikke søges elimineret

Sandsynligheden for at se en effekt af kontinuert mergødsning må antages at stige med varigheden af mergødsningen. I de to 5-årige forsøgsserier i Holstebro og Guldborg, er der i Guldborg, som vist ovenfor (Figur 4), store afgrøde-betingede forskelle i udvaskning, mens der i Holstebro udelukkende har været vinterkorn – derfor fokuseres nu på resultaterne i Holstebro for at mindske effekten af afgrøde.

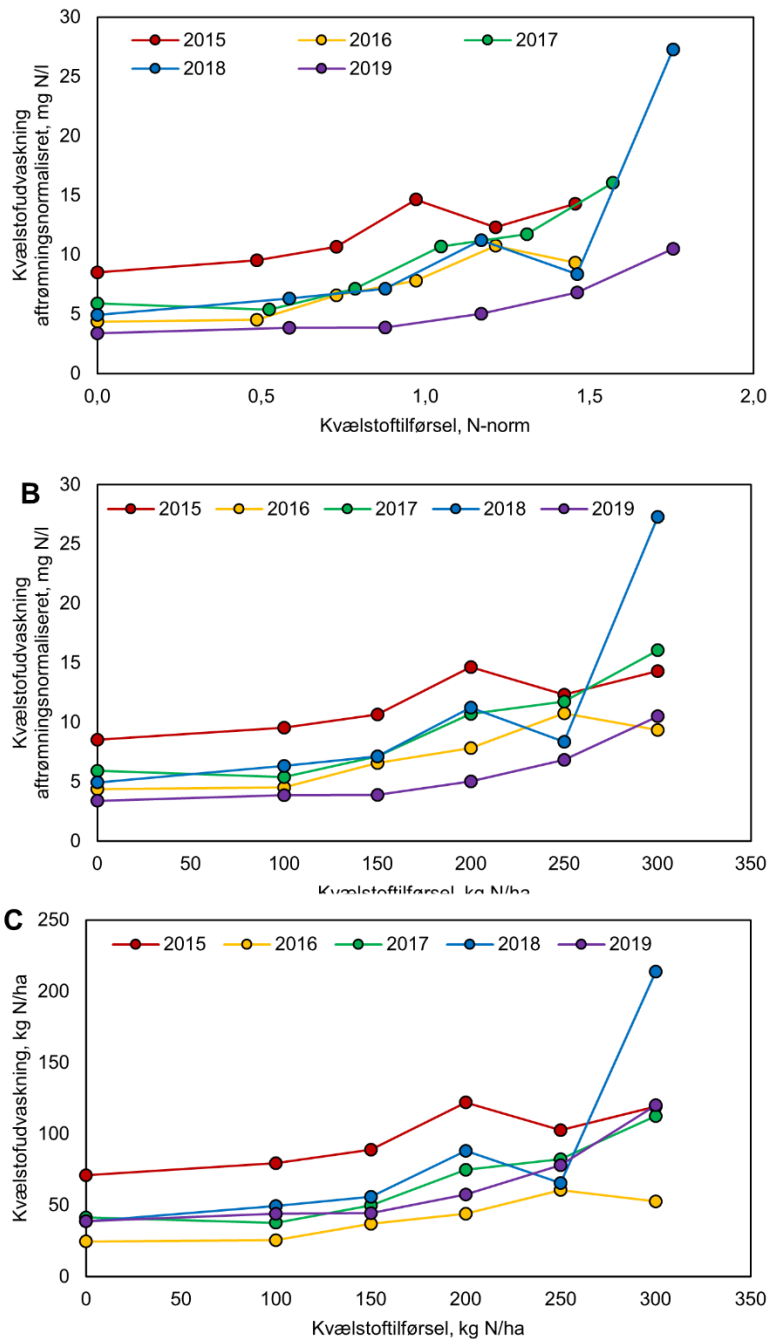
Holstebro 2015-2019

I Figur 6A er afbilledet den afstrømningsnormaliserede kvælstofudvaskning som funktion af kvælstoftilførslen normaliseret i forhold til norm-tilførslen til afgrøden de enkelte år. Afstrømningsnormaliseret udvaskning beregnes som udvaskningen divideret med den totale afstrømning, hvilket giver en gennemsnitlig nitratkoncentration i det afstrømmende vand, mg N/l. Dette vil udligne noget af den forskel, som forskellige års afstrømning vil have på udvaskningen. En norm-normaliseret kvælstoftilførsel har til formål at udligne den varierende forskel, som findes mellem kvælstof-normen for det enkelte års afgrøde og det faste niveau af tilførsel af kvælstof i det enkelte led.

I Figur 6B er den afstrømningsnormaliserede kvælstofudvaskning, mg N/l, vist som funktion af kvælstoftilførslen i kg N/ha.

I Figur 6C er kvælstofudvaskningen, kg N/ha, vist som funktion af kvælstoftilførslen i kg N/ha.

Hvis marginaludvaskningen påvirkes af antal år med stigende kvælstofniveau, vil det betyde, at udvaskningen ved høje kvælstofniveauer vil stige med årene. Det kan ikke ses i figurene. Årsspecifikke forhold, som timing og mængde af nedbør, afgrødeudbytte, o.a., påvirker kvælstofudvaskningen, hvorved en eventuel effekt forsvinder, uanset sammenlignelighed ift. afgrøde, afstrømning og kvælstoftilførsel relativt til norm mellem årene.



Figur 6. A: Afstrømningsnormaliseret kvælstofudvaskning, mg N/l, som funktion af kvælstoftilførslen normaliseret i forhold til norm-tilførslen, N-norm, til afgrøden de enkelte år. B: Afstrømningsnormaliseret kvælstofudvaskning, mg N/l, som funktion af kvælstoftilførslen, kg N/ha. C: Kvælstofudvaskning, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførslen, kg N/ha.

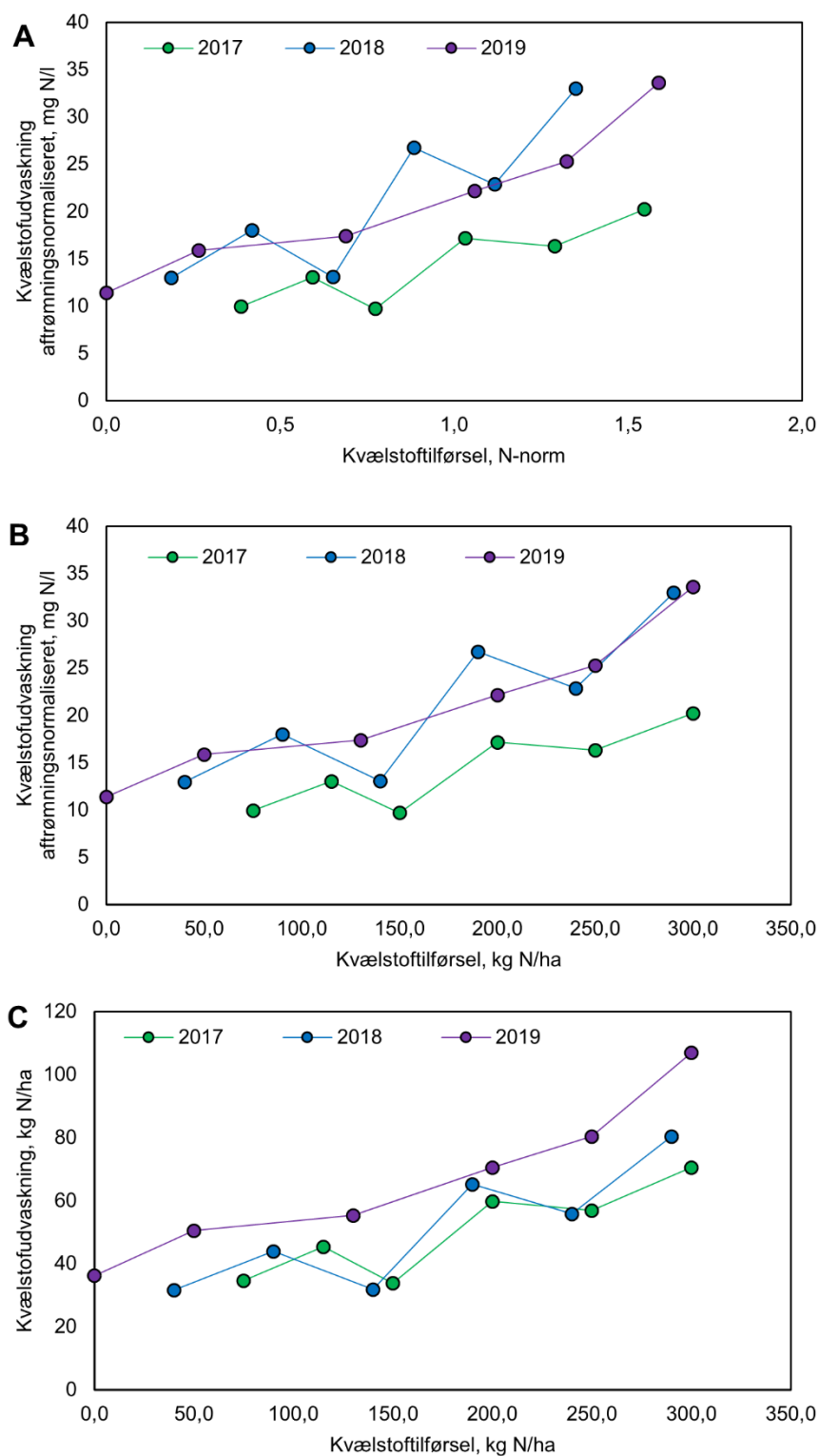
[Figurer rapport\Fig6.png](#)

Ringsted 2017-2019

Figur 7 illustrerer i tilsvarende grafer resultaterne fra forsøget i Ringsted, der strækker sig over tre forsøgsår. Afgrøderne her er ligeledes alle overvintrende, men med vinterraps i 2018 og vinterkorn i 2017 og 2019.

Det ses, at der i udvaskningsmålingerne som funktion af kvælstoftilførsel (Figur 7C) faktisk er en stigning over de tre år ved den højeste kvælstoftilførsel. Denne sammenhæng forsvinder dog, hvis man normaliserer for afstrømningen, der i 2019 var ca. 25 % højere end i 2018. Det kan på denne baggrund, hverken konkluderes eller afkræftes, at der er en effekt på udvaskningen af flere års mer-gødsning i dette forsøg heller.

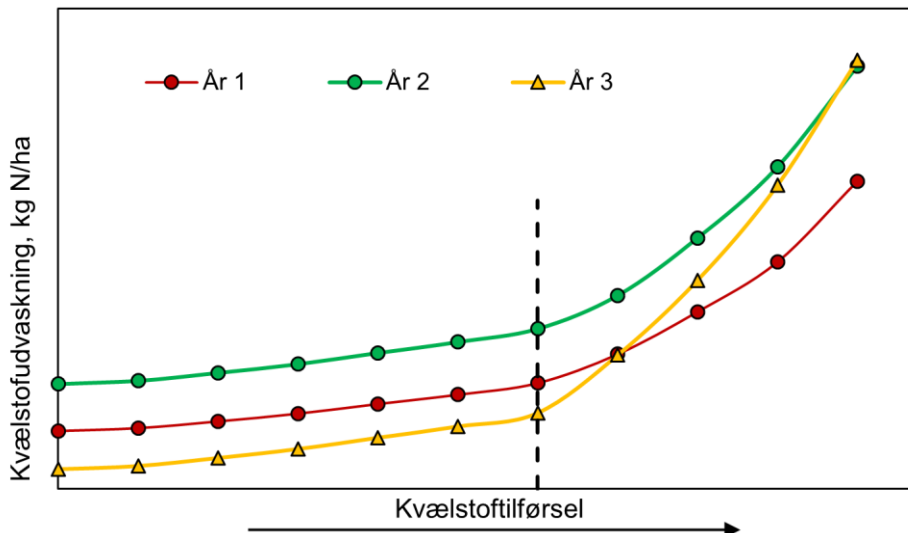
En tilsvarende gennemgang af forsøgene i Guldborg og Jyderup viser ingen tendens til positiv sammenhæng mellem varighed af mer-gødsning og udvaskning. Forsøget i Odder dækker kun to forsøgsår.



Figur 7. A: Afstrømningsnormaliseret kvælstofudvaskning, mg N/l, som funktion af kvælstoftilførslen normaliseret i forhold til norm-tilførslen, N-norm, til afgrøden de enkelte år. B: Afstrømningsnormaliseret kvælstofudvaskning, mg N/l, som funktion af kvælstoftilførslen, kg N/ha. C: Kvælstofudvaskning, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførslen, kg N/ha. [Figurer rapport\Fig7.png](#)

Marginaludvaskning

Hvis der er en positiv effekt på udvaskningen af flere års mergødsning, må marginaludvaskningen ligeledes antages at stige over tid ved disse kvælstoftilførselsniveauer. Marginaludvaskningen ved et givent kvælstofniveau er hældningen (tangenten) til kurven over kvælstofudvaskningen som funktion af kvælstoftilførslen ved den specifikke tilførsel. I Figur 8 er illustreret et generelt billede på, hvordan denne kurve må forventes at blive stejlere og stejlere år for år, hvis udvaskningen i de mer-gødskede led (over norm) stiger over tid. I figuren er marginaludvaskningen ved kvælstoftilførsel over norm ikke afhængig af årets generelle udvaskningsniveau, hvilket sandsynligvis ikke nødvendigvis altid vil være tilfældet.



Figur 8. Eksempel (tænkt) på kvælstofudvaskning som funktion af kvælstoftilførsel over 3 år med en positiv effekt på marginaludvaskningen i de mer-gødskede led. Den stiplede linje markerer norm-kvælstoftilførsel.

[Figurer rapport\Fig8.png](#)

I Tabel 4 nedenfor er udvaskning og marginaludvaskning for alle forsøg beregnet ved regression for kvælstoftilførsel svarende til norm, norm +20, +40 og +60 kg N/ha. Det ses, at i forsøgene i Ringsted og Holstebro, hvor der ovenfor ikke blev fundet nogen sammenhæng mellem varighed af mer-gødsning og udvaskningsniveau, faktisk er en stigende tendens i marginaludvaskningen. I forsøget i Holstebro dog undtaget det sidste år.

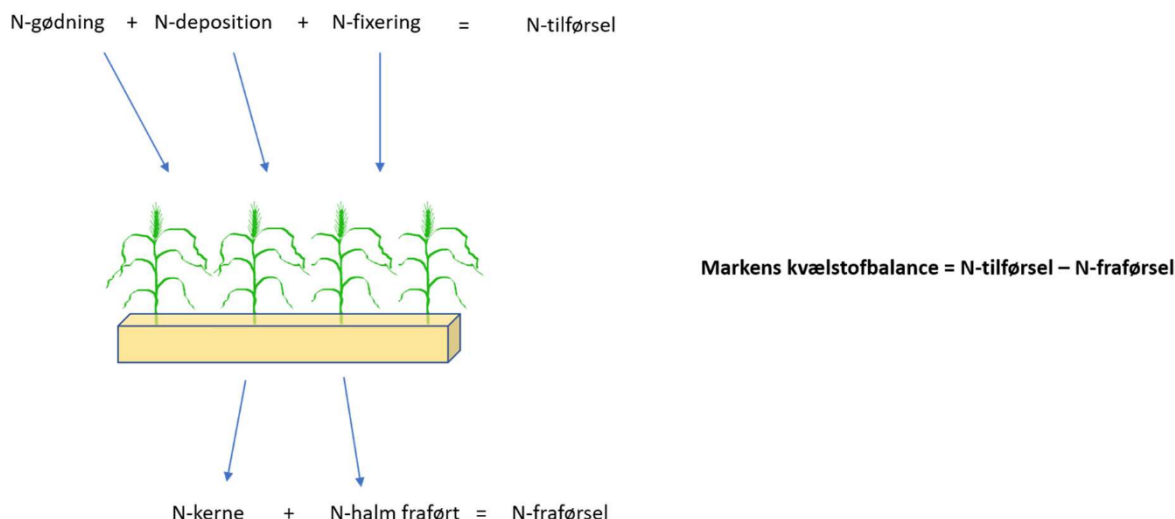
Det er kendt, at udvaskning og marginaludvaskningen generelt vil afhænge af afgrøde, jordtype og afstrømning, og den generelt vil stige med stigende gødningsniveau (Børgesen et al. 2015, Knudsen et al. 2017). Der er med andre ord altså så mange indvirkende faktorer på udvaskning og marginaludvaskning de enkelte år, at det ikke er muligt på nuværende tidspunkt med de forsøgsresultater, der foreligger her, at konkludere nogen effekt af flere års mergødsning i SEGES' udvaskningsforsøg.

Tabel 4. Udvaskning og marginaludvaskning beregnet ved norm-kvælstoftilførsel i alle forsøg.

Forsøgs- serie	Lokalitet	JB	År	Udvaskning ved norm, kg N/ha	Udvaskning ved norm + 20 kg N/ha, kg N/ha	Udvaskning ved norm + 40 kg N/ha, kg N/ha	Udvaskning ved norm + 60 kg N/ha, kg N/ha	Marginal udvask- ning ved norm, %	Marginal udvask- ning ved norm + 20 kg N/ha, %	Marginal udvask- ning ved norm + 40 kg N/ha, %	Marginal udvask- ning ved norm + 60 kg N/ha, %
07013	Jyderup	4	2017	60	64	69	75	22	23	25	27
			2018	44	59	78	103	63	83	110	146
			2019	46	48	51	53	12	12	13	13
07014	Ringsted	6	2017	50	53	57	60	16	17	18	19
			2018	58	62	66	71	20	22	23	25
			2019	71	75	80	84	21	22	23	25
07027	Holstebro	1	2015	102	106	110	115	20	20	21	22
			2016	43	47	50	55	17	18	20	21
			2017	63	71	79	88	34	38	42	47
			2018	67	76	86	98	42	47	53	60
			2019	55	61	68	75	28	31	35	38
07028	Guldborg	7	2015	30	33	36	40	15	17	19	21
			2016	9	9	10	10	2	3	3	3
			2017	34	36	39	41	11	11	12	13
			2018	19	20	21	22	4	5	5	5
			2019	33	36	39	42	13	15	16	17
07096	Odder	6	2017	30	34	39	45	20	22	25	29
			2019	34	37	41	44	14	16	17	19
Gennemsnit				50	55	60	66	21	24	27	31
Gennemsnit sandjord				60	67	74	83	30	34	40	47
Gennemsnit lerjord				37	40	43	46	14	15	16	17

Kvælstofbalancer i marken.

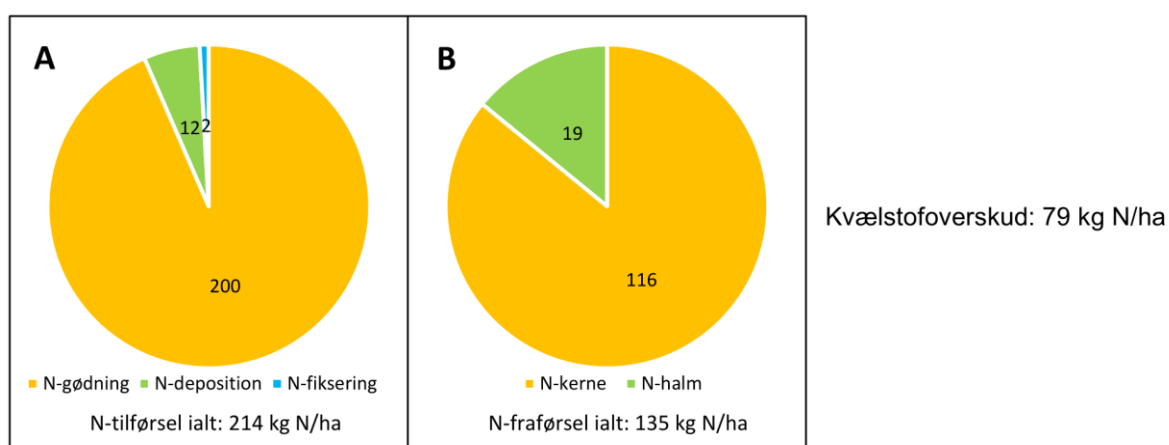
Det, der generelt forstås ved 'markens kvælstofbalance', er illustreret i Figur 9 nedenfor. Markens kvælstoftilførsel beregnes her som en sum af det tilførte kvælstof i gødning, deposition af kvælstof fra atmosfæren og atmosfærisk kvælstof fikseret af mikroorganismer i jorden. Kvæstoffraførslen beregnes som summen af kvælstof fjernet i afgrødeprodukter fra marken.



Figur 9. Beregning af markens kvælstofbalance illustreret.

[Figurer rapport\Fig9.png](#)

Et eksempel på en fordeling af kvælstofposterne i markbalancen ses i Figur 10, vinterhvede fra forsøgsserien i Holstebro, tilført 200 kg N/ha, et udbytte på 74 hkg/ha, hvor halmen bjærges. Det skal bemærkes, at fiksering af kvælstof fra luften er et ubetydeligt bidrag (~1-3 kg N/ha) i afgrøder, som ikke er bælgplanter, mens det der omvendt vil være den primære tilførsel. Det ses desuden i Figur 10, at den beregnede markbalance viser et overskud på 79 kg N/ha, hvis skæbne der ikke redegøres yderligere for.

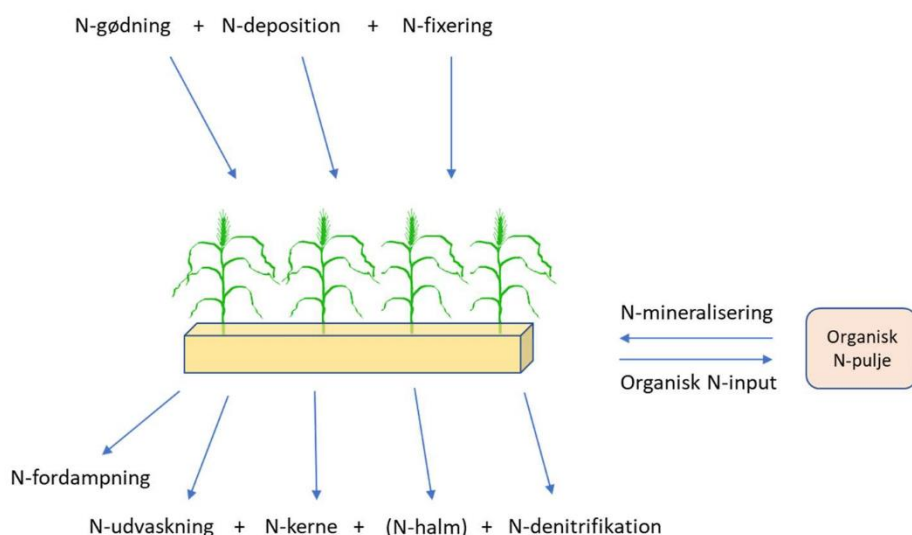


Figur 10. Eksempel på fordeling af poster i kvælstoftilførsel og kvæstoffraførsel i en vinterhvede mark tilført 180 kg N/ha i gødning, med et udbytte på 73 hkg/ha, hvor halmen bjærges, samt den beregnede markbalance.

[Figurer rapport\Fig10.png](#)

Det samlede kvælstofregnskab for marken

Det virker oplagt, at der må være en sammenhæng mellem markbalancen og kvælstofudvaskningen, da udvaskningen af kvælstof kommer fra kvælstofoverskuddet. Men hvor kvælstof- og fraførslerne, som omtales for markbalancen ovenfor og i Figur 9 og 10, er kendt med stor sikkerhed (undtaget halm som estimeres ud fra kerneudbyttet) bliver situation mere usikker, hvis man vil forsøge at redegøre for skæbnen af det efterladte kvælstofoverskud i jorden. I Figur 11 illustreres den samlede kvælstofbalance for marken.

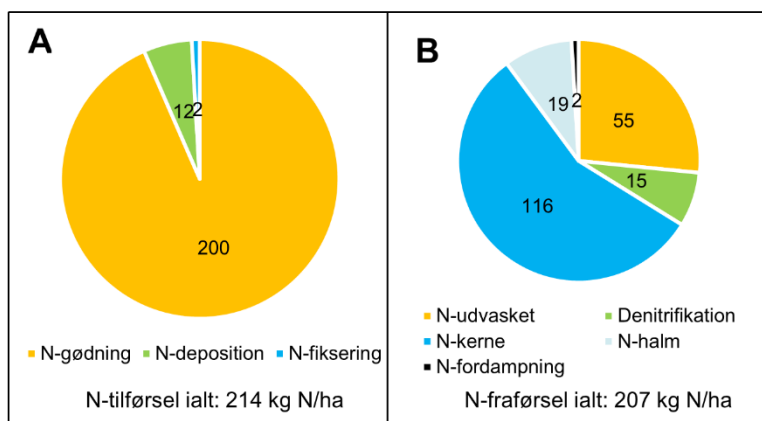


Figur 11. Markens samlede kvælstofbalance illustreret.

[Figurer rapport\Fig11.png](#)

I forsøgene måles kvælstofudvaskningen, som er den primære tabspost, og man er derved et stort skridt nærmere at kunne redegøre for kvælstoffets skæbne i marken. Tabene ved denitrifikation og fordampning kan estimeres, men specielt på lerjord er det med stor usikkerhed på beregning af denitrifikation. I kvælstofbalancen indgår også en nettoopgørelse af, hvordan jordens kvælstofpulje udvikler sig. Kvælstof frigøres fra jordpuljen ved mineralisering og indgår i afgrødens kvælstofforsyning og bidrager til udvaskning, fordampning og denitrifikation. Kvælstof tilføres jordpuljen ved kvælstof bundet i rod-, planterester og mikroorganismer. Ved korndyrkning vil jordpuljen af kvælstof ofte blive reduceret, mens den ved græsdyrkning vil blive bygget op.

For eksemplet i Figur 10 (vinterhvedemark m. halmbjærgning, 200 kg N/ha) kunne balancen se sådan ud som vist i Figur 12 (målt udvaskning, beregnet denitrifikation og fordampning). Af figuren ses, at vi på denne baggrund må antage en netto-mineralisering af kvælstof fra den organiske pulje på -13 kg N/ha - altså jordens kvælstofpulje, organisk og uorganisk, vokser med 13 kg N/ha i den undersøgte periode.



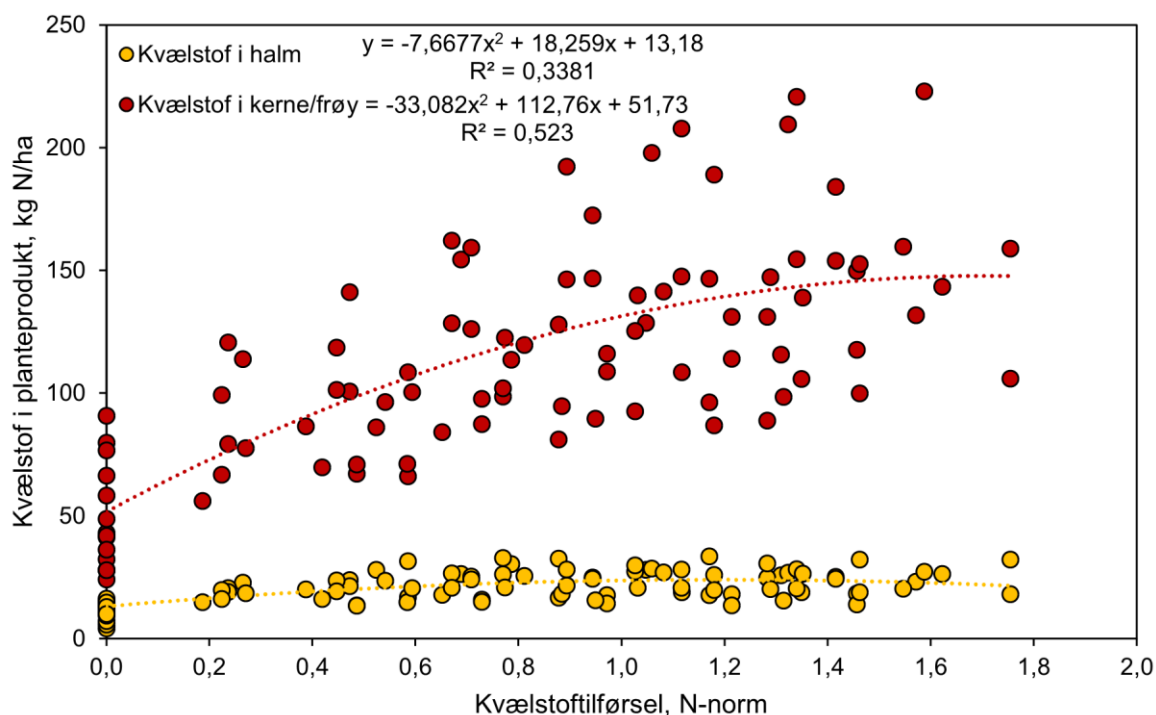
Kvælstofoverskud før jordpuljeændring: 13 kg N/ha

[Figurer rapport\Fig12.png](#)

Figur 12. Eksempel på fordeling af poster i det samlede kvælstofregnskab i en vinterhvede mark tilført 180 kg N/ha i gødning, hvor halmen bjærges, samt den beregnede markbalance.

Kvælstofbalancer forsøgsresultater

I Figur 13 nedenfor vises, hvordan kvælstof i kerne og halm afhænger af kvælstoftilførslen i alle forsøg, alle behandlinger (undtagelser se figurtekst). Det ses, at den kvælstoffraførsel, som sker med kerne/frø, som forventet stiger med stigende kvælstoftilførsel, men med aftagende hastighed ved de højeste kvælstoftilførsler. Den kvælstoffraførsel, som eventuelt sker ved bjærgning af halm, udgør i gennemsnit 20 % af kvælstoffraførslen i kerne/frø.

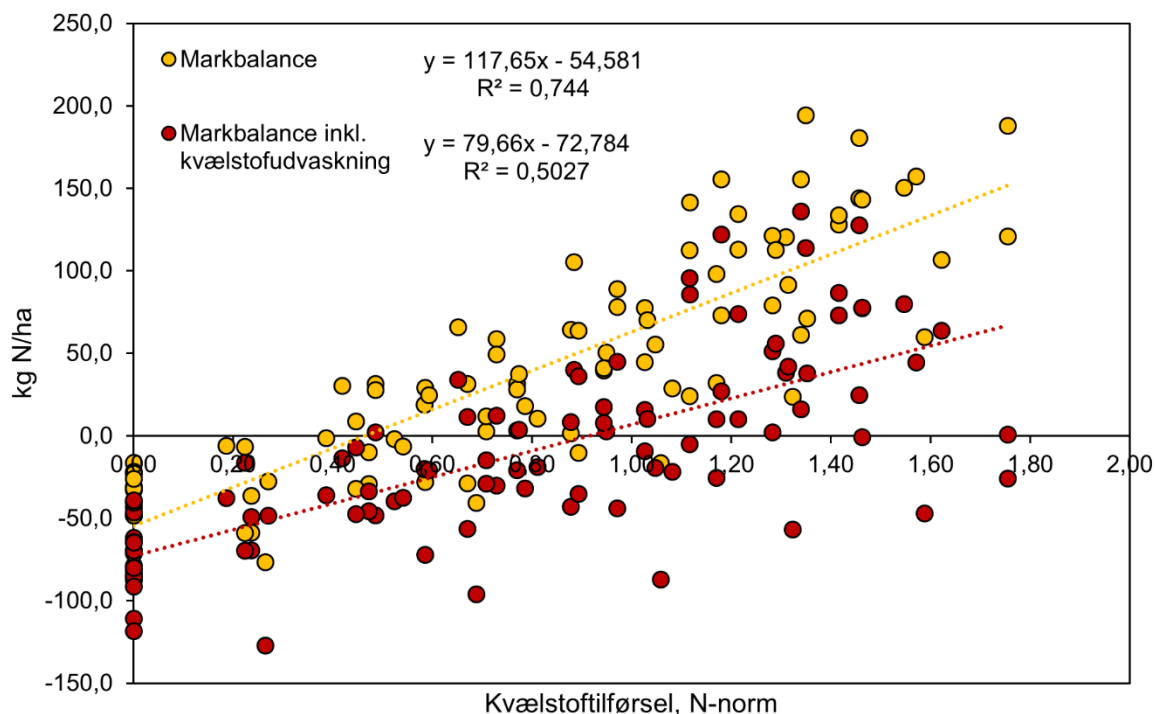


Figur 13. Kvælstofindhold i kerne/frø og halm, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm, for alle forsøg undtaget Guldborg 2016 og 2019. Der indsat polynomiske regressionslinjer.

[Figurer rapport\Fig13.png](#)

Markbalancen, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, er vist i Figur 14 for alle forsøg, alle behandlinger. Det ses, at balancen viser et overskud for næsten alle niveauer af kvælstoftilførsel, undtaget de laveste 2-3 niveauer. Den indsatte lineære regressionslinje viser, at balancen i

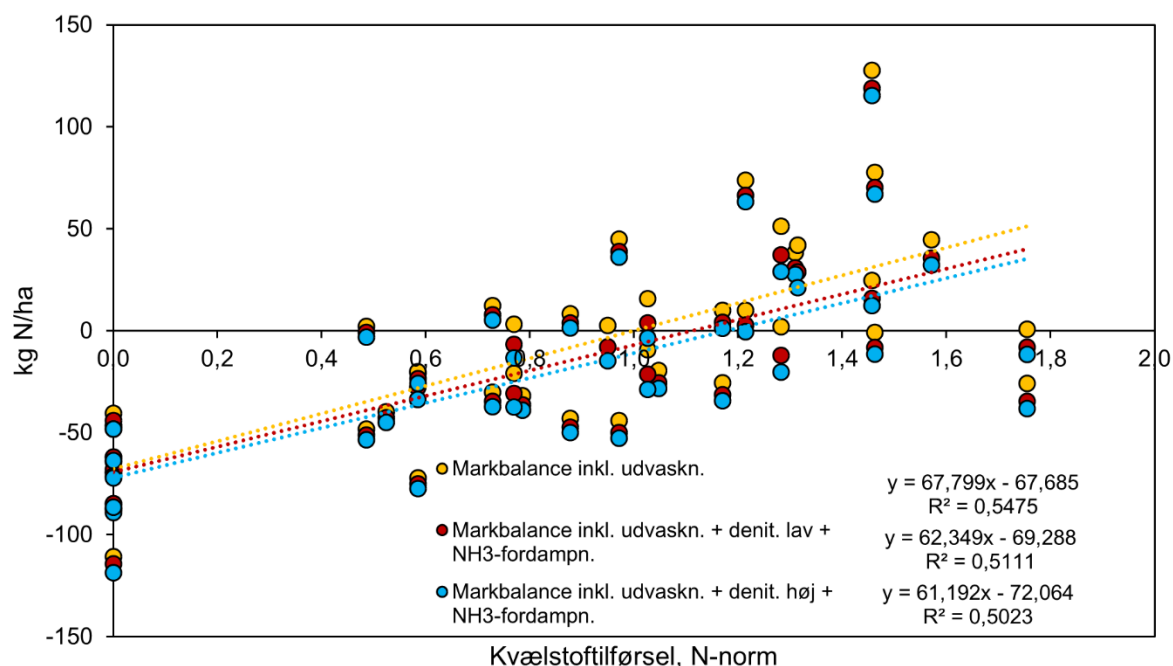
gennemsnit er positiv ved tilførsel over 46% af kvælstofnorm. I Figur 14 vises ligeledes balancen, når den målte udvaskning medregnes som fraførsel af kvælstof. Det ses, at balancen skubbes kraftigt til højre, og på baggrund den indsatte regressionslinje er markbalancen nu gennemsnitligt positiv ved tilførsel over 91% af kvælstofnormen.



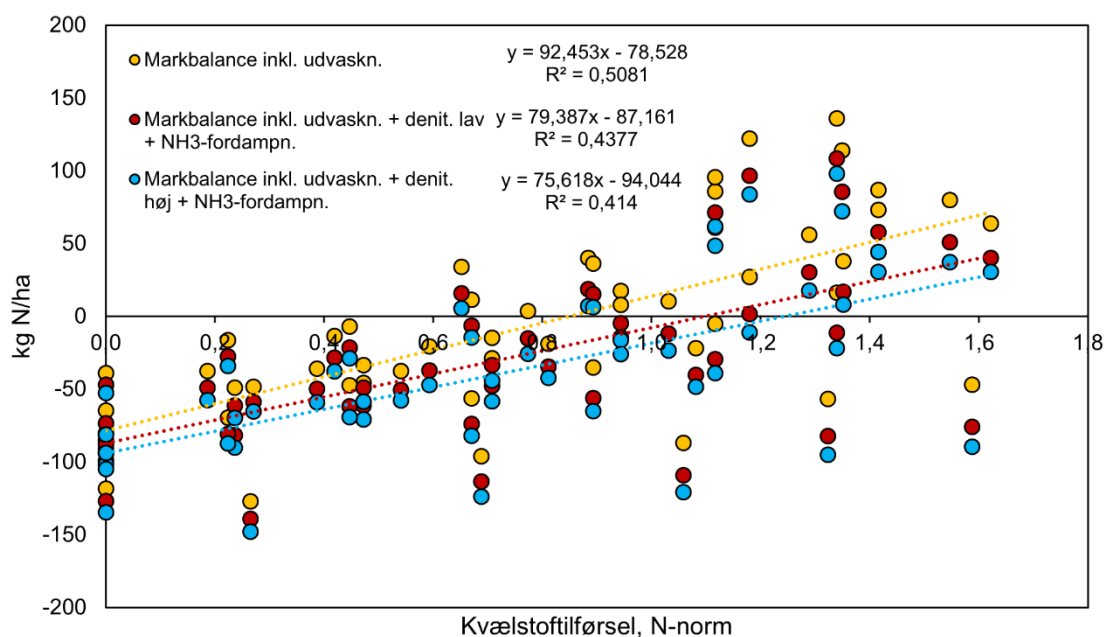
Figur 14. Gule symboler: Markbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm, for alle forsøg undtaget Guldborg 2016 og 2019. Røde symboler: Markbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter og kvælstofudvaskning, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm, for alle forsøg undtaget Guldborg 2016 og 2019. Indsat lineære regressionslinjer for begge dataserier.

[Figurer rapport\Fig14.png](#)

Udover udvaskning vil der også være et kvælstoftab via NH_3 -fordampning fra gødning og denitrifikation. NH_3 -fordampningen beregnes ved hjælp standard emissionsfaktorer for den anvendte gødnings-type og udgør i forsøgene her i alle tilfælde under 1% af den tilførte kvælstofmængde. Denitrifikationen estimeres her ved SimDen-modellen (Vinther og Hansen 2004), hvor den beregnes som summen af et bidrag fra den tilførte kvælstof og et bidrag fra kvælstof mineraliseret fra den organiske kvælstof-pulje. Begge bidrag differentieres efter nedbørsklima og jordtype, mens bidraget fra mineraliseret kvælstof også yderligere differentieres efter jordens forhistorie ift. tilførsel af organisk materiale. I Figur 15 og 16 nedenfor er markbalancen beregnet inklusiv kvælstoffraførsel via udvaskning, NH_3 -fordampning og denitrifikation, for henholdsvis sand- og lerjord i forsøgene (se figurtekst for undtagelser). Der er beregnet markbalance ved både et højt og lavt (ift. organisk input forhistorie) estimat af denitrifikationen. Det skal bemærkes, at der er indsat lineære regressionslinjer. Sammenhængen mellem markbalance og kvælstoftilførsel er ikke nødvendigvis lineær.



Figur 15. Sandjord. Gule symboler: Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter og kvælstofudvaskning, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. Røde symboler: Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, kvælstofudvaskning, NH₃-fordampning og lavt estimat af denitrifikationen, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. Blå symboler: Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, kvælstofudvaskning, NH₃-fordampning og højt estimat af denitrifikationen, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. De tre dataserier indeholder resultater fra alle forsøg på sandjord. [Figurer rapport\Fig15.png](#)



Figur 16. Lerjord. Gule symboler: Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter og kvælstofudvaskning, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. Røde symboler:

Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, kvælstofudvaskning, NH_3 -fordampning og lavt estimat af denitrifikationen, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. Blå symboler: Kvælstofbalance, tilført kvælstof minus fraført kvælstof i planteprodukter, kvælstofudvaskning, NH_3 -fordampning og højt estimat af denitrifikationen, kg N/ha, som funktion af kvælstoftilførsel, N-norm. De tre dataserier indeholder resultater fra alle forsøg på lerjord, undtaget Guldborg 2016 og 2019. [Figurer rapport\Fig16.png](#)

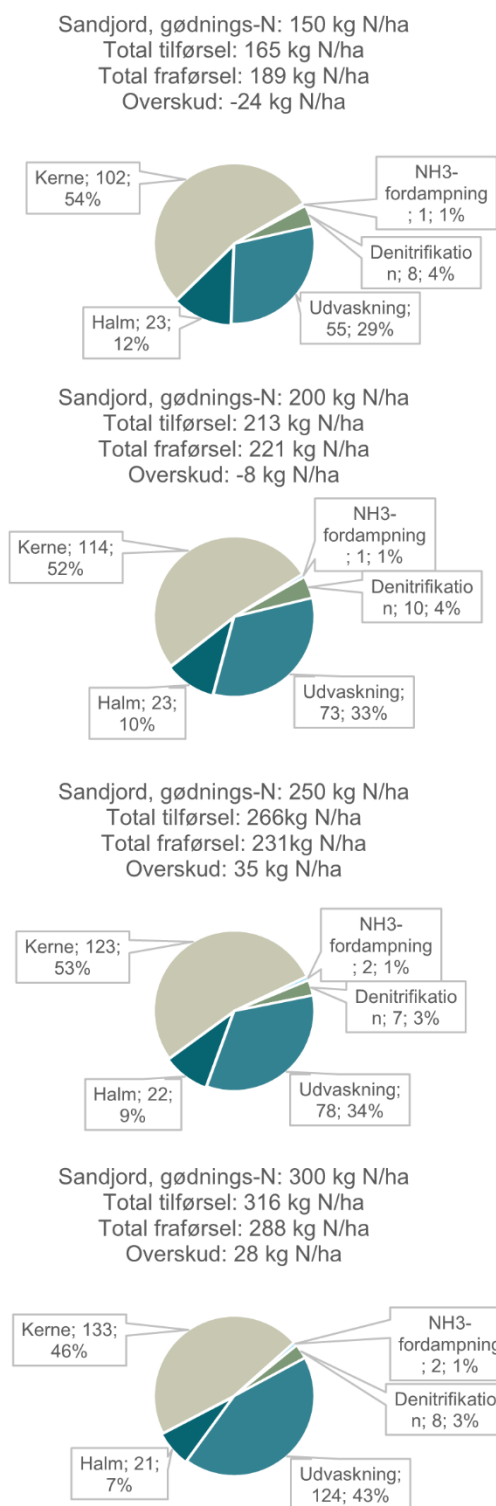
Det ses af Figur 15 og 16, at de beregnede tab via denitrifikation har størst betydning på lerjord sammenlignet med sandjord. Det ses ligeledes, at denne samlede markbalance for kvælstof gennemsnitligt, i resultaterne her, er negativ ved kvælstoftilførsler op til ca. 10% over N-normen på sandjord, mens det tilsvarende på lerjord er ved kvælstoftilførsler op til ca. 10-20% over N-normen, afhængigt af estimatet af tabet ved denitrifikation. Dette indikerer, at der ved en tilførsel på N-normen tæres på jordens kvælstofpulje på både sand- og lerjord.

I figurerne nedenfor vises de gennemsnitlige kvælstofregnskaber for de 4 højeste niveauer af kvælstoftilførsel, ca. 150, 200, 250 og 300 kg N/ha, i forsøgene på sandjord (Figur 17) og lerjord (Figur 18). I de enkelte forsøg har niveauerne af kvælstoftilførsel ikke været fuldstændig ens. Det vil sige, at gennemsnitsværdierne præsenteret i figurerne for hvert niveau af kvælstoftilførsel også dækker tilførsler ca. 10 kg N/ha højere og lavere. Håndteringen af halm har også været forskellige i forsøgsserierne fra år til år, derfor præsenteres kvælstofregnskaberne ved enten bjærgning eller nedmuldning af halm. Dette introducerer naturligvis den fejl, at de målte kvælstofudvaskninger de enkelte år hænger sammen med håndteringen af halm samme år. Endelig er denitrifikationen beregnet som et middel-estimat. Disse forhold skal altså tages med i betragtning, når figurerne læses.

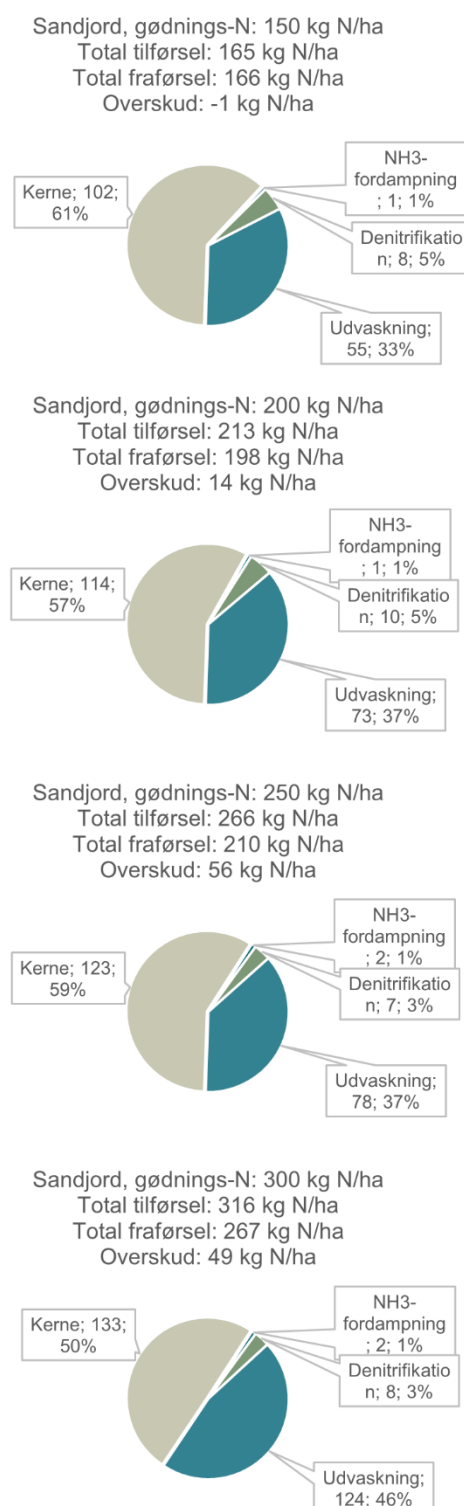
Det ses, at de forsøgsled, som har fået tilført ca. 150 og 200 kg N/ha, på både sand- og lerjord i gennemsnit enten balancerer eller har et negativt kvælstofregnskab – der tæres på jordens kvælstofpulje. Ved en tilførsel på ca. 250 og 300 kg N/ha ses der gennemsnitligt på sandjord et positivt kvælstofregnskab på 30-40 kg N/ha og 50-60 kg N/ha ved henholdsvis bjærgning og nedmuldning af halm. Tilsvarende for lerjord er 10-20 kg N/ha og 30-50 kg N/ha. I de længste forsøgsserier, Holstebro og Guldborg, vil dette svare til et kvælstofinput til jorden på henholdsvis 150-300 kg N/ha og 50-250 kg N/ha over de 5 forsøgsgårde i de højest gødskede led.

Den primære kvælstoffraførsel via frø/kerne udgør på sandjord i regnskaberne præsenteret nedenfor mellem 46 og 61 % af den samlede fraførsel, mens det tilsvarende for lerjord er mellem 59 og 70 % - en forskel som skyldes den højere udvaskning og lavere udbytte på sandjord. Regnskaberne viser, at ved de højeste niveauer af kvælstoftilførsel udgør den beregnede fraførsel via udvaskning mellem 29 og 46 % af den samlede fraførsel på sandjord, mens det tilsvarende kun er mellem 16 og 23 % på lerjord.

Bjærgning af halm:

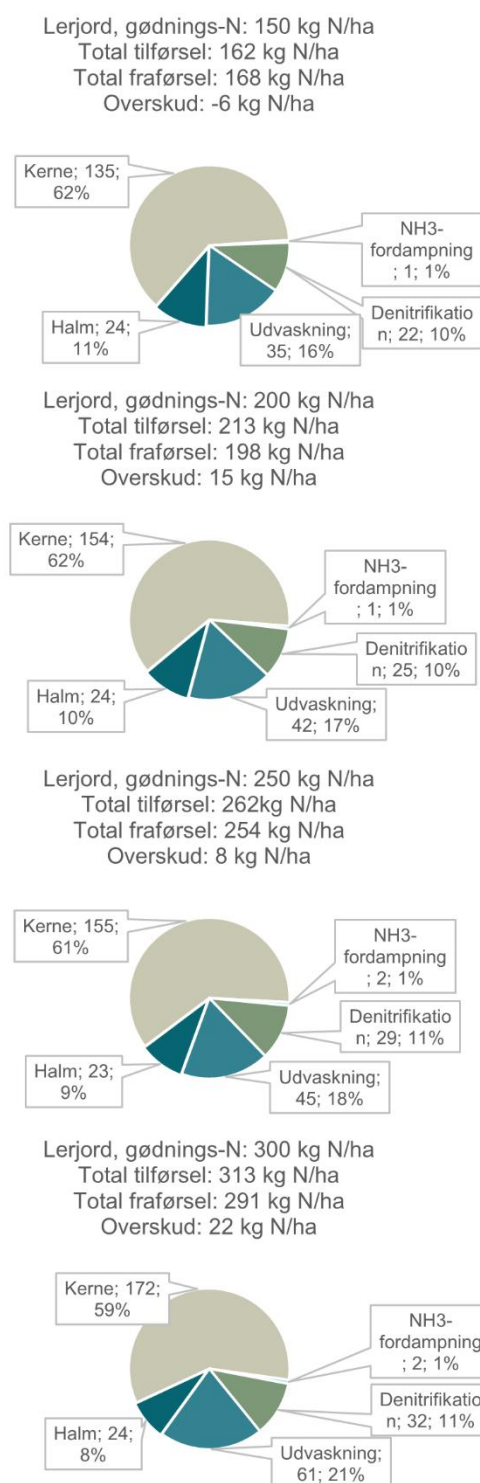


Nedmuldning af halm:

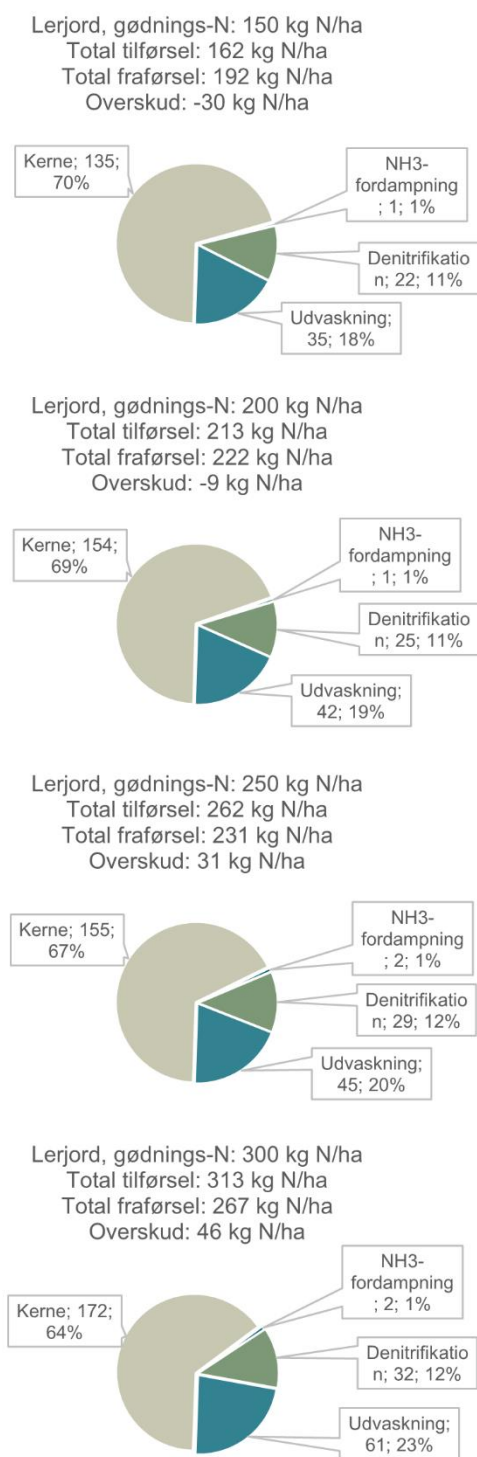


Figur 17. Gennemsnitlige samlede kvælstofregnskaber ved de 4 højeste niveauer af kvælstoftilførsel for forsøgene på sandjord, beregnet med og uden bjærgning af halm. Hvert angivet niveau af kvælstoftilførsel i handelsgødning er et gennemsnit af den faktiske tilførsel de enkelte år, hvilke i hovedsagen er 150, 200, 250 og 300 kg N/ha, men enkelte år har været +/-10 kg N/ha. De enkelte år har naturligvis været enten med eller uden bjærgning af halm, men her der beregnet gennemsnit for enten med eller uden bjærgning. På cirkeldiagrammerne er angivet fraførselsposternes størrelse i kg N/ha, samt procentvis andel af alle poster. [Figurer rapport\Fig17.png](#)

Bjærgning af halm:



Nedmuldning af halm:



Figur 18. Gennemsnitlige samlede kvælstofregnskaber ved de 4 højeste niveauer af kvælstoftilførsel for forsøgene på lerjord, beregnet med og uden bjærgning af halm. Hvert angivet niveau af kvælstoftilførsel i handelsgødning er et gennemsnit af den faktiske tilførsel de enkelte år, hvilke i hovedsagen er 150, 200, 250 og 300 kg N/ha, men enkelte år har været +/-10 kg N/ha. De enkelte år har naturligvis været enten med eller uden bjærgning af halm, men her der beregnet gennemsnit for enten med eller uden bjærgning. På cirkeldiagrammerne er angivet fraførselsposternes størrelse i kg N/ha, samt procentvise andel af alle poster. [Figurer rapport\Fig18.png](#)

Usikkerheder ved opstilling af kvælstofregnskaber.

Ved opstilling af 'fuldstændige' eller 'samlede' kvælstof-regnskaber eller -balancer som gjort ovenfor, er det meget vigtigt at være opmærksom på de usikkerheder, der er forbundet med bestemmelsen af de enkelte poster. Gødningstilførsel og fraførsel via det primære planteprodukt er bestemt med stor nøjagtighed i forsøgene.

Kvælstofudvaskning

I forsøgene bestemmes kvælstofudvaskningen, som beskrevet tidligere, ved en kombination af måling af jordvandskoncentrationen i det afstrømmende vand og en modelsimulering af afstrømningen over året. Det er den generelt accepterede måde til 'måling' af kvælstofudvaskning, men der er en række forhold, som kan give udfordringer ved metoden:

Prøveudtagningen sigter efter at dække de afstrømningsperioder, som forekommer hen over året, idet man ellers er nødsaget til at foretage antagelser omkring jordvandskoncentrationen af kvælstof. Dette kan især være et problem på sandjord, hvor der oftere vil forekomme afstrømningshændelser udenfor den primære afstrømningsperiode efterår/vinter, som måske ikke 'fanges' af prøvetagning.

Anvendelsen af sugeceller på lerjord giver desuden nogle usikkerheder og uafklarede spørgsmål, dels omkring præferentiel strømning til eller forbi sugecellerne pga. struktur i lerjorden og dels omkring antagelsen om, at kvælstof i afstrømmende vand i én meters dybde virkelig er at regne for udvasket. Her anføres det eks. at hvede, som kan have et dybere rodnet, vil kunne optage kvælstof, som ved metoden er regnet for udvasket. Endelig er der på arealet ved Holstebro konstateret periodevis grundvandsspejl over sugecelleydbyde, hvilket udfordrer antagelsen om en nedadgående vandstrømning fra rodzonen.

Afstrømningen modelleres ved modellen EVACROP. Modellen simulerer via daglige klimatiske input afgrødens blad- og rodvækst og holder regnskab på vandindholdet i en række reservoirs i jorden. Modellens antagelse omkring den aktuelle rodzonekapacitet bygger på standardværdier ift. afgrøde og jordtype. Det er selvsagt afgørende, om denne er nogenlunde korrekt for, at den rigtige afstrømning bestemmes. Følgende den langvarige tørke i 2018 varede det langt ind i vinteren, før det bl.a. i Guldborg var muligt at udtage jordvandsprøver (Piil 2019). Herved blev den modellerede afstrømning over efterår/vinter kun dækket af ganske få koncentrationsmålinger i jordvandet, hvilket peger på modellens vanskeligheder ved at simulere de ekstreme forhold det år.

Tab af kvælstof ved denitrifikation

Estimering af denitrifikation ved en model som SimDen bygger bl.a. på gennemsnitsobservationer af klima- og jordtype-mæssige forhold. Da den aktuelle denitrifikation er meget påvirket af bl.a. vandmætningen og tilgængeligheden af letomsætteligt organisk stof i jorden, vil ekstraordinære hændelser, som eksempelvis en meget våd sensommer, kunne påvirke årets samlede tab af kvælstof ved denitrifikation meget. Sådanne hændelser vil naturligvis føre til, at den modellerede denitrifikation ikke stemmer overens med den faktiske i marken.

Deposition af kvælstof

Depositionen af kvælstof fra atmosfæren i et specifikt område beregnes som en funktion af bl.a. klimatiske forhold og tætheden af dyrehold. Depositionen estimeres ikke væsentligt forskellig over landet, men det kan naturligvis ikke udelukkes, at der kan være lokale forhold, som gør, at det enkelte forsøgsareal tilføres enten mere eller mindre kvælstof end standard-depositionen for området.

Samlet set er der i forhold til opstillingen af samlede kvælstofregnskaber en række usikkerheder på de omtalte poster, som det er værd at være opmærksom på. Det kan ikke konkluderes af resultatet påvirkes hovedsagligt i den ene eller anden retning, blot at der er en vis usikkerhed på de ret betydelige poster kvælstofudvaskning og tab ved denitrifikation, mens usikkerheden på deposition af kvælstof sandsynligvis er af mindre betydning. Overordnet viser forsøgsresultaterne med bestemmelse af

udbytte og udvaskning samt beregning af tab ved denitrifikation og ammoniakfordampning, at afstemningen af balancen med ændringen i jordpuljen virker sandsynlig ved de forskellige kvælstofniveauer.

Konklusion

Det kan på baggrund af analysen her ikke konkluderes, at der i resulaterne fra SEGES' sugecelleforsøg er en effekt på udvaskningen i forsøgsled med flere års kontinuert mergødsning. Ifølge den eksisterende viden på området, vil effekten på udvaskningen være ganske beskeden - 3 til 4 kg N/ha højere udvaskning i led tilført 300 kg N/ha sammenlignet med led tilført 300 kg N/ha - i sammenligning med de forskelle i udvaskning, som eksempelvis afgrøde og klima introducerer mellem forsøgsårene. Beregningerne af samlede kvælstofregnskaber, inkluderende alle til- og fraførselsposter, viste, at der ved kvælstoftilførsel svarende til normen gennemsnitligt sker en netto-frigivelse fra jordens kvælstofpulje på både ler- og sandjord. Ved tilførsel ca. 10% over N-normen var der i gennemsnit et kvælstofoverskud, hvilket dog på især lerjord afhænger meget af den estimerede denitrifikation.

De altdominerende poster i kvælstoffraførsel på sandjord er kerne/frø, evt. bjærget halm og udvaskning. På sandjord beregnedes disse poster til at udgøre over 94% af det samlede tab ved kvælstoftilførsler over 150 kg N/ha. På lerjord kan tabet ved denitrifikation desuden udgøre en væsentlig post, beregnet til alene at udgøre >10 % af det samlede tab ved kvælstoftilførsler over 150 kg N/ha.

Kun kvælstoftilførsel i gødning og kvælstoffraførsel i kerne/frø er baseret på egentlige målinger. Der er altså betydelig usikkerhed forbundet med redegøre for markens kvælstofregnskab, idet øvrige poster er estimeret med variende sikkerhed.

Referencer

- [1] Børgesen, C.D., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kristensen, I.T., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Jensen, P.N., Olesen, J.E., Eriksen, J. 2015. Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret. Aarhus Universitet.
- [2] Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Kristensen, K.M., Pullens, J.W.M., Zhao, J., Olesen, J.E. 2020A. NLES5 – an empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. DCA report no. 163. Aarhus University.
- [3] Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Kudsk, P., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H., Ørum, J.E. 2020B. Reduceret tilførsel af mineralsk kvælstofgødning i Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. DCA rapport nr. 174, Aarhus Universitet.
- [4] Cameron, K.C., Di, H.J. og Moir, J.L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology* 162, 145-173.
- [5] Delin, S. and Stenberg, M. 2014. Effect of nitrogen fertilizer on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden. *European Journal of Agronomy* 52, 291-296.
- [6] Eriksen, J., Thomsen, I.K., Hoffmann, C.C., Hasler, B., Jacobsen, B.H. (redaktører) 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. DCA rapport nr. 174. Aarhus Universitet.
- [7] Hart, P. B. S., Powlson, D. S., Poulton, P. R., Johnston, A. E., and Jenkinson, D. S. (1993). THE AVAILABILITY OF THE NITROGEN IN THE CROP RESIDUES OF WINTER-WHEAT TO SUBSEQUENT CROPS. *Journal of Agricultural Science* 121, 355-362.
- [8] Knudsen, L., et al. 2017. Fakta om kvælstof i landbruget. SEGES.
- [9] Lord, E.I. and Mitchell, R.D.J. (1998). Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. *Soil Use and Management* 14, 78-83.
- [10] Piil K., 2017. Kvælstofudvaskning ved stigende kvælstofmængder. S. 221-224 i Pedersen, J.B. 2019. Oversigten over Landsforsøgene. SEGES.

- [11] Simmelsgaard, S.E. and Djurhuus, J. (1998). An empirical model for estimating nitrate leaching as affected by crop type and the long-term N fertilizer rate. *Soil Use and management* 14, 37-43.
- [12] Sørensen, P., Christensen, B.T., Børgesen, C.D. 2019. Langtidseffekter på nitratudvaskning af mineralsk kvælstof i tilført gødning (10-års perspektiv). DCA, Aarhus Universitet.
- [13] Vinther, F.P. og Hansen, S. 2004. SimDen – A simple empirical model for quantification of N₂O emission and denitrification. DJF rapport nr. 104. Aarhus Universitet.