Danmarks
Naturfredningsforening

ANALYSE AF FORUDSÆTNINGER FOR
LANDBRUGSPAKKEN

Danmarks Naturfredningsforening

ANALYSE AF FORUDSÆTNINGER FOR LANDBRUGSPAKKEN

Analyse af NLES4-modellen, der er anvendt som grundlag for Fødevare- og landbrugspakken af 22. december 2015.

Analysen er foretaget for Danmarks Naturfrednings-forening af Bjørn Molt Petersen, BMP Analytics.

November 2017

Danmarks Naturfredningsforening
Masnedøgade 20
2100 København Ø

Resumé

Fødevare- og landbrugspakken, aftalt i 2015 mellem den daværende regering, Liberal Alliance, Dansk Folkeparti og De Konservative, er baseret på en omfattende række af beregninger, blandt andet den gennemsnitlige kvælstofudvaskning på landsplan. Et centralt element i disse beregninger er den såkaldte marginaludvaskning, hvilket er den procentdel af en stigning i kvælstofgødningen, som efterfølgende udvaskes fra markerne. Fødevare- og landbrugspakken indebærer en lempelse af gødningsreglerne, så det er tilladt at bruge mere kvælstofgødning. Den beregnede merudvaskning, forårsaget af denne lempelse, er helt afhængig af marginaludvaskningens størrelse.

I mange år har man antaget, at marginaludvaskningen er 30-33 %, men denne værdi blev med Fødevare- og landbrugspakken sænket til 18 %. Dermed blev den beregnede merudvaskning, forårsaget af pakkens lempelser af gødningsreglerne, langt mindre.

Nedenstående analyse gennemgår de data, der ligger til grund for Fødevare- og landbrugspakkens sænkning af marginaludvaskningen. Analysen viser, at marginaludvaskningen på 18 % ikke er understøttet af de data, der udgør det forskningsmæssige grundlag for pakken.

Baggrund

EU's Vandrammedirektiv pålægger Danmark at opnå "god økologisk tilstand" i havmiljøet senest i 2027. De færreste danske fjorde og kystnære farvande opfylder målet om god økologisk tilstand, og udledningen af kvælstof (N) til havet skal reduceres til 42.000 ton N per år, for at dette mål kan opnås (Borum et al., 2016).

Fødevare- og landbrugspakken fra 2015 blev lanceret som en bedre ramme for landbruget og som en fordel for miljøet i de kystnære marine vandområder. Et væsentligt element i denne pakke var en lempelse af kvælstofkvoterne, således at det blev tilladt at tilføre mere kvælstofgødning til landbrugsjorden.

Konsekvensberegningerne for kvælstofudvaskningen i forhold til stigningen i den tilladte gødningsmængde blev udført med modellen NLES4.

Et centralt spørgsmål i den forbindelse er, hvor stor en procentdel af den ekstra tilførte mineralske kvælstofgødning der bliver udvasket fra marken. Denne procentdel kaldes for "marginaludvaskningen".

I perioden 2003 – 2011 blev det antaget, at værdien for marginaludvaskningen var 30 – 33 %. Denne størrelsesorden blev anvendt i en række konsekvensanalyser (Børgesen et al., 2015, tabel 4). Antagelsen hvilede blandt andet på den tidligere anvendte beregningsmodel NLES3, der har en marginaludvaskning i denne størrelsesorden.

I forbindelse med udarbejdelsen af det videnskabelige grundlag for Fødevare- og landbrugspakken, blev marginaludvaskningen på landsplan nedjusteret til 18 %. Borum et al. (2016) har opstillet et regnskab for udledningen af kvælstof til havmiljøet med både den oprindelige og den sænkede marginaludvaskning. Borum et al. (2016) udtrykker skepsis overfor Fødevare- og landbrugspakkens markante nedjustering af marginaludvaskningen og bekymring for de store ekstra mænger af kvælstof, der vil blive tilført havmiljøet, hvis der ikke er belæg for sænkningen af marginaludvaskningen.

Analyse

Dette er en analyse af forudsætningerne for Fødevare- og landbrugspakken, med udgangspunkt i NLES4-beregningerne. Analysens appendiks går i dybden med beregningstekniske detaljer.
Udgangspunktet for analysen er "Tilbagerulningsnotatet" (Børgesen et al., 2015) fra Aarhus Universitet. Tilbagerulningsnotatet er en central del af den forskningsmæssige baggrund for Fødevare- og landbrugspakken.

Der er foretaget en vurdering af NLES4-marginaludvaskningen i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5. Vurderingen er baseret på resultater fra 5 videnskabelige artikler (Delin og Stenberg, 2014; Engström et al., 2010; Manevski et al., 2015; Pandey et al., 2015; Wachendorf et al., 2004).
Denne vurdering udgør en væsentlig del af den forskningsmæssige legitimitet for NLES4-beregningerne. Vurderingen vil derfor blive undersøgt i denne analyse.

Værdien for den gennemsnitlige marginaludvaskning fra NLES4 på landsplan er 18 %. Dette tal kan både udregnes fra side 8 i Tilbagerulningsnotatet og fra Tabel 1 i notatet af Børgesen et al. (2017). Værdien på 1/5 (20 %) for marginaludvaskningen, der konsekvent anføres i Tilbagerulningsnotatet, er en forhøjelse. Årsagen til denne forhøjelse er ikke angivet.

Vedrørende markforsøg med dyrkning af majs med efterafgrøde (Manevski et al., 2015) står der i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5: *"Marginaludvaskningen var mindre end 20 % ved gødningsniveau under gældende kvælstofnormer"*.
Dette udsagn er ikke korrekt. Mindst 2 af de 4 majsforsøg med efterafgrøder vil ligge betydeligt over 20 % i marginaludvaskning[1] ved gødningsniveau under gældende kvælstofnormer.

Vedrørende markforsøg med havre står der i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5: *"Ligeledes under svenske forhold fandt Dehlin og Stenberg (2014), at der ved gødskning under eller ved økonomisk optimum ikke var statistisk sikker forskel på kvælstofudvaskningen."*
Dette udsagn er ikke retvisende, idet der refereres til et årsafhængigt økonomisk optimum. Dette fremgår ikke af Tilbagerulningsnotatet. Det årsafhængige optimum kendes først ved høsttidspunktet. Der angives et gennemsnitligt økonomiske optimum på 90 kg N/ha i Delin og Stenberg (2014), og det er dette niveau, der har praktisk relevans. Ud fra artiklens egne formler, udregnes en marginaludvaskning på 14 % ved gennemsnitligt økonomisk optimum. På baggrund af resultaterne i Delin og Stenberg (2014) kan man ikke hævde, at denne værdi på 14 % ikke er statistisk forskellig fra værdierne ved gødskning under økonomisk optimum.

Den NLES4-beregnede værdi på 18 % for marginaludvaskningen gælder for en flerårig periode. Dette skyldes, at et enkelt års ekstra tilførsel af kvælstof har en virkning, der rækker flere år frem i tiden. Ifølge NLES4 vil 45 % af den samlede merudvaskning fra en stigning i kvælstoftilførslen forekomme i det første år. De resterende 55 % vil, ifølge NLES4, blive udvasket de følgende 5 år. Disse tal kan udregnes fra det sæt af ligninger, der udgør NLES4 (Kristensen et al., 2008). Detaljerne i beregningen kan ses i afsnit 4 i Appendiks.
Tallene er en forenkling af virkeligheden, hvor tidshorisonten for en ny kvælstofligevægt i jorden ved permanent mertilførsel er betydeligt længere end 6 år.

[1] Dette gælder uanset valg af interpolationsmetode, se afsnit 2 i Appendiks.

De nedenstående beregninger forudsætter, at konsekvensanalyserne bag Fødevare- og landbrugspakken er foretaget således, at hele effekten af stigningen i kvælstoftilførslen er regnet med i den samlede marginaludvaskning, således at 45 % (år 1) + 55 % (år 2-6) = 100 % af konsekvenserne for udvaskningen fremgår.
Da kun 45 % af den NLES4-beregnede merudvaskning sker i første år, er det korrekte sammenligningsgrundlag for etårige markforsøg 45 % af 18 %, hvilket er 8 % (0.45 * 0.18 = 0.08 = 8 %). Derfor skal etårige forsøg, der hævdes at understøtte NLES4-beregningen på landsplan, holdes op mod en NLES4-marginaludvaskning på 8 %. Disse 8 % er 2½ gange lavere end den 1/5 marginaludvaskning der anføres i Tilbagerulningsnotatet. Det fremgår ikke af Tilbagerulningsnotatet, at det er ukorrekt at sammenholde marginaludvaskningen fra etårige udvaskningsforsøg med den angivne marginaludvaskning på 1/5.

Wachendorf et al. (2004) har sammenstillet forsøg med varierende kvælstoftilførsel til marker med forskellige afgræsningssystemer. Herefter er der udarbejdet en formel for sammenhængen mellem tilført gødning (både handels- og husdyrgødning) og kvælstofudvaskning.
I sammenstillingen indgår forsøg fra mange lokaliteter med forskellige opsætninger. Nogle af detailbeskrivelserne af eksperimenterne udgøres af tyske Ph.D. afhandlinger. De tilgængelige artikler viser store variationer i forsøgene. Der er i nogle af forsøgene anvendt kløvergræs og i andre græs uden kløver. Der er anvendt varierende forhold mellem handelsgødning og husdyrgødning. Varigheden i de af forsøgene, der er beskrevet i tilgængelige artikler, varierer fra 2 til 9 år. Jo længere gennemsnitlig varighed forsøgene har, jo højere vil marginaludvaskningen være, jf. de ovenstående beregninger med 8 % marginaludvaskning ved etårige betragtninger, og 18 % marginaludvaskning ved seksårige betragtninger.
Herudover er der estimeret reduceret kvælstoffiksering ved høj gødningstilførsel til kløvergræs i nogle af de forsøg, der ligger bag formlen (Ryden et al., 1984; Ledgard et al., 1999). Det skal således defineres om og hvordan, den forventede N-fiksering i NLES4-beregningerne responderer på øget tilførsel af kvælstof, før disse resultater kan indgå.
For at kunne sammenholde resultaterne med NLES4-beregninger på en retvisende måde kræves der en analyse, der inddrager alle væsentlige konfunderende faktorer, hvoraf nogle er skitseret ovenfor. En sådan analyse vil yderligere kræve inddragelse af forsøgsdetaljerne fra de ikke offentligt tilgængelige Ph.D. afhandlinger. Før en sådan omfattende analyse er foretaget, giver det ikke mening at sammenligne resultaterne fra Wachendorf et al. (2004) vedrørende forskellige afgræsningssystemer med NLES4-udregninger. Det i Tilbagerulningsnotatet anførte gødningsinterval på 100 – 400 kg N/ha, og det dertil knyttede interval for marginaludvaskningen på 14 – 24 % kan således ikke anvendes direkte i forhold til en tolkning af sammenhængen med NLES4-marginaludvaskningen (det angivne interval for marginaludvaskningen på 10 - 23 % i Tilbagerulningsnotatet er ikke er korrekt udregnet).

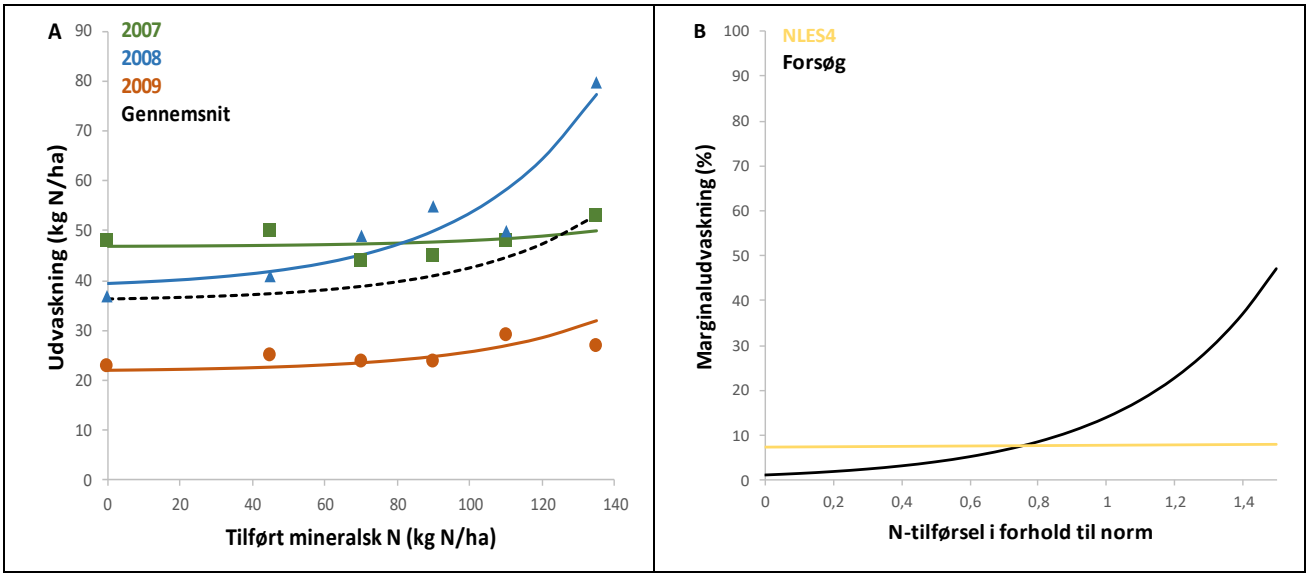
Udvaskningen og marginaludvaskningen for slætgræs er typisk meget lav, som det også fremgår af Wachendorf et al. (2004). Marginaludvaskningerne fra både afgræsnings- og slætmarker skal ses i lyset af, at en stor del af disse marker jævnligt pløjes om. Herved kan der frigives store mængder kvælstof, som, alt afhængigt af håndteringen heraf, kan give anledning til øget udvaskning. Eksempelvis er der en kraftig udvaskning ved forsøgene med majs efter kløvergræs, både med og uden efterafgrøder (figur 5A, 6A). Den høje marginaludvaskning (figur 5B, 6B), knyttet til den ekstra store mængde af tilgængeligt kvælstof i jorden fra kløvergræsset, er af en størrelsesorden, som NLES4's matematik ikke vil kunne eftergøre.

Proceduren ved specifikke undersøgelser af udvaskningens forløb i forhold til tilført kvælstof i handelsgødning vil normalt være at anvende samme sædskifte og kun anvende mineralsk N (f.eks. Lord og Mitchell, 1998; Goulding et al., 2000; Engström et al., 2010; Delin og Stenberg, 2014). Denne praksis sikrer mindst mulig sammenblanding af faktorer. Der refereres i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5 til artiklen Pandey et al. (2015), som ikke er publiceret. Ud fra de oplysninger, der er givet i Tilbagerulningsnotatet, er det således ikke muligt at kontrollere beregningerne direkte. Ud fra de angivne informationer omhandler artiklen de forsøg, der er beskrevet i Olesen (2013), Olesen (2014), Pandey et al. (2017) og Shah et al. (2017). Hovedtrækkene i beregningerne kan eftergøres via disse publikationer.
Forsøgene opererer med en sum af kvælstof i mineralsk gødning, i organisk gødning og i afgrøderester. Herudover er der regnet på tværs af forskellige sædskifter.
Ved en sammenligning mellem sædskifter med nedbrydning eller ligevægt af organisk kvælstof i jorden, og sædskifter med stor opbygning af organisk kvælstof i jorden, vil forsøgene med stor opbygning af kvælstof i jorden, på grund af store mængder kvælstof i planterester, ofte have en lavere udvaskning i forhold til mængden af tilført kvælstof inklusive planterester. I dette forsøg vil bl.a. denne effekt være så stor, at en direkte sammenligning med marginaludvaskning fra ekstra tilført mineralsk kvælstof vil være fejlbehæftet i en grad, så sammenligningen ikke er valid. Dette er uddybet i afsnit 6 i Appendiks.
Resultaterne fra Pandey et al. (2015) kan, på det foreliggende grundlag, ikke anvendes til en sammenligning med marginaludvaskningen for mineralsk kvælstof fra NLES4.

Data fra Delin og Stenberg (2014), Engström et al. (2010) og Manevski et al. (2015) kan anvendes direkte til en kvantitativ analyse af marginaludvaskningen, og vil blive behandlet nedenfor.

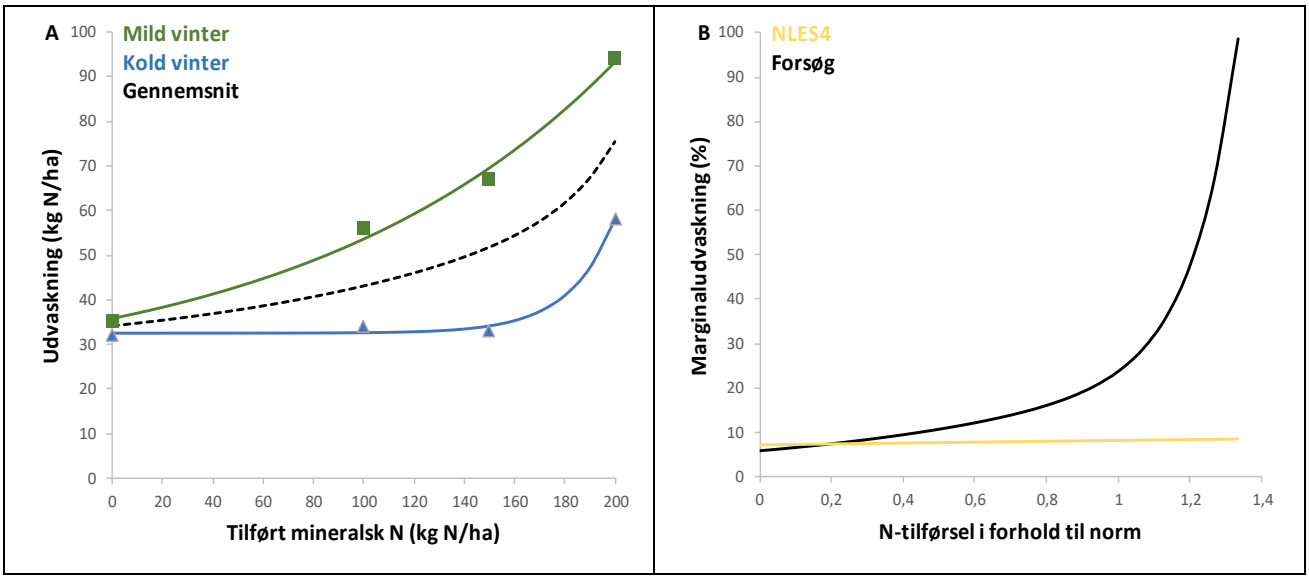
Figur 1A viser udvaskningen fra artiklen af Delin og Stenberg (2014). Dette er et forsøg med havre, der er gennemført med forskellige kvælstoftilførsler. Selv om forsøget strækker sig over tre år, er det kun den etårige marginaludvaskning, der er relevant her, da forsøgene for hvert år er placeret på forskellige parceller.
For hvert af de 3 år er der beregnet en separat kurve ud fra de målinger af udvaskningen, der er foretaget ved 6 forskellige kvælstofniveauer. Dette er en interpolation, hvis formål er at gå fra de enkeltpunkter man kan se i figur 1A til en udglattet kurve. Denne kurve kan bruges til at udregne marginaludvaskningens forløb. Man kan ikke beregne marginaludvaskningen for forsøgsdata uden anvendelse af interpolation.

Ud fra de tre kurver for de respektive forsøgsår dannes en ny kurve, der viser gennemsnittet. Herefter kan den gennemsnitlige marginaludvaskning over forsøgets tre år udregnes ved at differentiere denne gennemsnitlige kurve i figur 1A. Denne marginaludvaskning kan ses i figur 1B (sort kurve). Figur 1B anvender ikke kg N/ha som enhed for den vandrette akse, men derimod N-tilførslen i forhold til normen (anbefalet eller påbudt N niveau). For dette forsøg er den anbefalede tilførsel 90 kg N/ha (”ha” = hektar). Marginaludvaskningen (figur 1B, sort kurve) er 14 % ved normtilførsel, dvs. ved værdien 1 på den vandrette akse, og for NLES4 (gul kurve) er den 8 %. Bemærk at denne gule NLES4-kurve afspejler gennemsnittet på landsplan.
Forsøgets marginaludvaskning ved normgødskning er således noget højere end NLES4-beregningen. Der er stor forskel mellem kurveforløbet for NLES4-marginaludvaskningen og kurveforløbet for forsøget. Forsøget viser et forløb for marginaludvaskningen, der har en opadgående bueform. Dette er det typiske forløb for forsøgsresultater af denne art.



Figur 1. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra havre tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Delin og Stenberg (2014).

Figur 2A viser udvaskningen fra artiklen af Engström et al. (2010). Dette er et forsøg med vinterraps med forskellige kvælstoftilførsler, hvor forsøgene for hvert år er placeret på forskellige parceller. For hvert af de 2 år er der lavet en separat kurve, og derefter er der udregnet en gennemsnitlig kurve. Marginaludvaskningen (figur 2B) viser en stejl stigning ved og over normgødskning. Det vil sige, at en meget stor del af det tilførte kvælstof udvaskes ved høje kvælstofmængder. Marginaludvaskningen er 24 % ved den anbefalede kvælstofmængde (ved værdien 1 på den vandrette akse i figur 2B), og NLES4 kurven, udregnet fra data på landsplan, er 8 %.



Figur 2. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra vinterraps tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Engström et al., 2010.

Figur 3A – 6A viser udvaskningen fra artiklen af Manevski et al. (2015). Dette er et forsøg med majs med forskellige kvælstoftilførsler, forskellige afgrøder før majsen (majs eller kløvergræs), med eller uden efterafgrøder og to lokaliteter (Foulum, Jyndevad). Forsøgene for hvert af de tre år er placeret

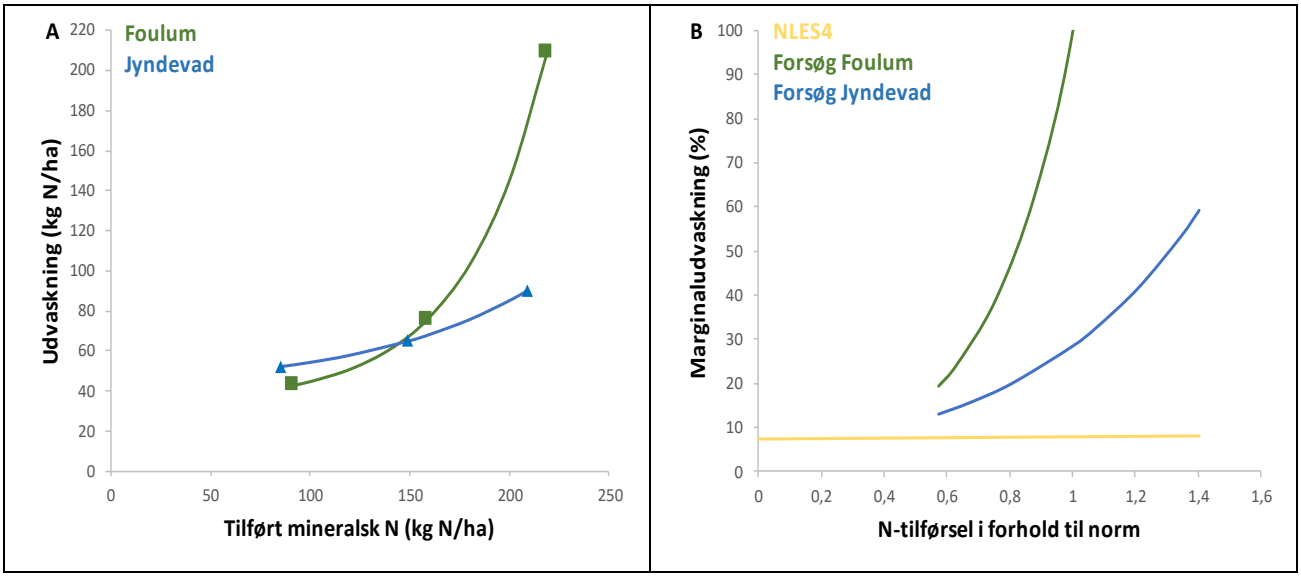
på forskellige parceller. Der er kun angivet gennemsnitlig udvaskning for de tre år, så her er ikke kurver for enkeltår. Tilførslen er regnet som mineralsk N, der både kommer fra handelsgødning og kvæggylle. Den mineralske del af kvælstof i kvæggyllen er angivet til 56 % i Manevski et al. (2015). Det er kun mineralsk kvælstof, der påvirker NLES4's udvaskning under en etårig tidshorisont (se Kristensen et al., 2008). Her bruges dog et mere konservativt tal, nemlig udnyttelseskravet (Anonym, 2017) på 70 %, som et skøn for mængden af mineralsk kvælstof samt det lettest omsættelige organiske kvælstof. Dette tal giver en *lavere* beregnet marginaludvaskning end ved anvendelse af de 56 %.

Figur 3B – 6B viser den beregnede kurve for forsøgenes respektive marginaludvaskning, og NLES4's kurve for marginaludvaskningen på landsplan.

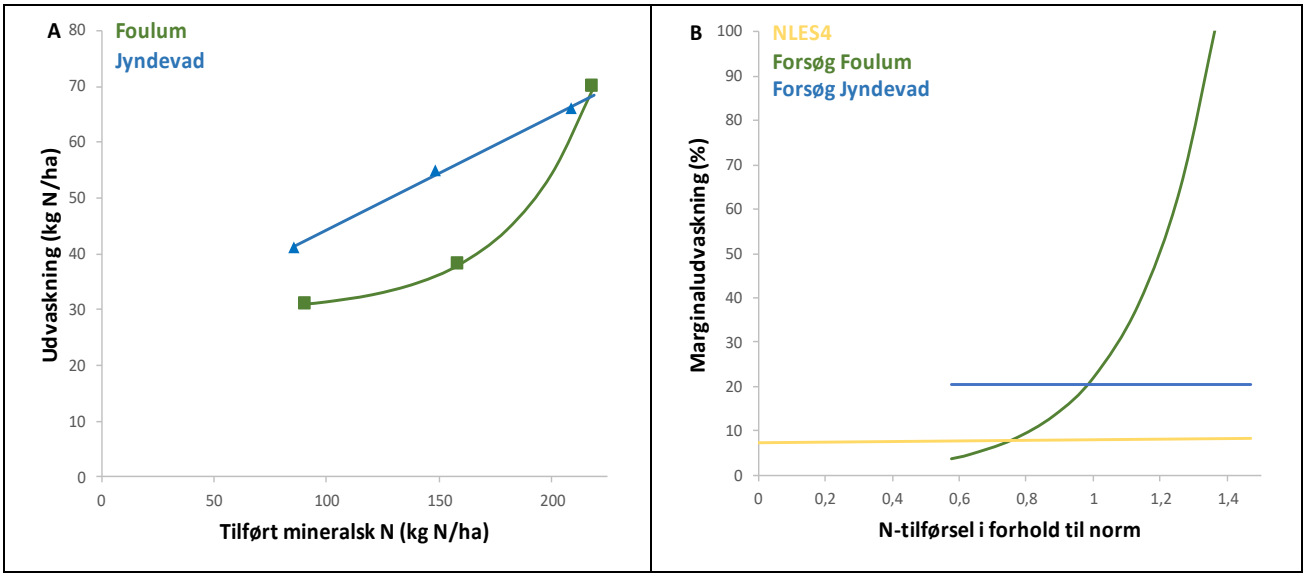
Figur 3 viser udvaskning og marginaludvaskning fra majs efter majs, uden efterafgrøder. Der er en tilsyneladende uforklaret høj udvaskning og marginaludvaskning ved Foulum lokaliteten.

Figur 4 viser udvaskning og marginaludvaskning fra majs efter majs, med efterafgrøder. Marginaludvaskningen (figur 4B) fra Jyndevad lokaliteten stiger ikke, trods sit lave indledende niveau. Dette kan skyldes en effektiv efterafgrøde, der evner at optage overskydende kvælstof.

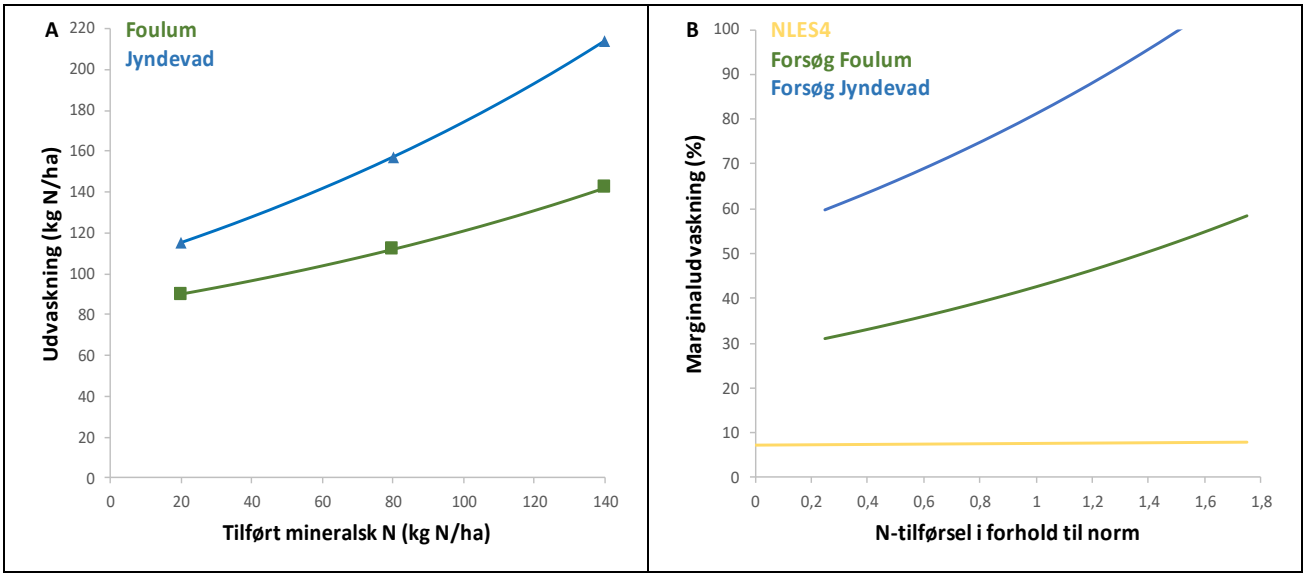
Figur 5 og 6 viser udvaskning og marginaludvaskning fra majs efter kløvergræs. De store mængder kvælstof fra det ompløjede kløvergræs giver høje værdier for både udvaskning og marginaludvaskning. Udvaskningen er højest fra majs uden efterafgrøder (figur 5). Det fremgår af figur 6, at efterafgrøderne ikke har kunnet optage det overskydende kvælstof.



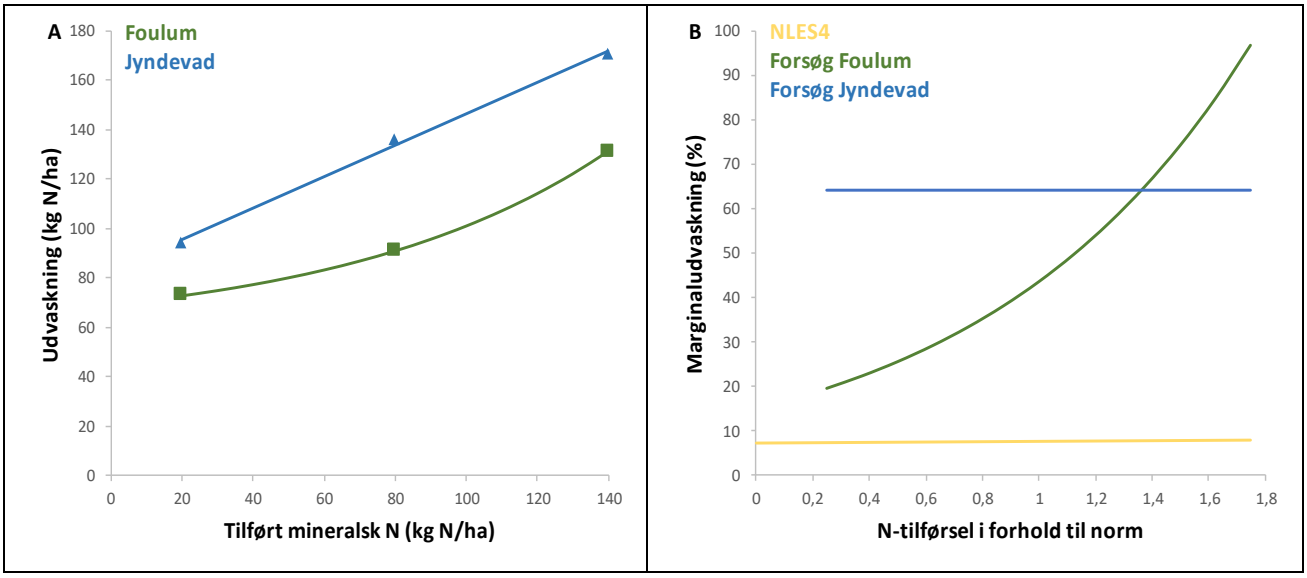
Figur 3. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra majs der efterfølger majs, tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Manevski et al. (2015).



Figur 4. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra majs med efterafgrøder der efterfølger majs, tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Manevski et al. (2015).



Figur 5. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra majs der efterfølger kløvergræs, tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Manevski et al. (2015).



Figur 6. Udvaskning (A) og marginaludvaskning (B) fra majs med efterafgrøder der efterfølger kløvergræs, tilført forskellige mængder kvælstofgødning, på basis af data fra Manevski et al. (2015).

Tabel 1 viser den beregnede marginaludvaskning for de behandlede forsøg. Den gennemsnitlige etårige marginaludvaskning ved normgødskning fra forsøgene bag figur 1 – 6 er 37,8 % og medianen er 28,5 %. I gennemsnit er disse forsøgs marginaludvaskning 473 % af NLES4-værdien, ud fra et sammenligningsgrundlag for NLES4 på 8 % i etårig marginaludvaskning.
Forskellene mellem forsøgenes marginaludvaskning og NLES4-værdier er bemærkelsesværdigt høje. Dette rejser et spørgsmål om, hvorvidt NLES4-marginaludvaskningens niveau er korrekt.

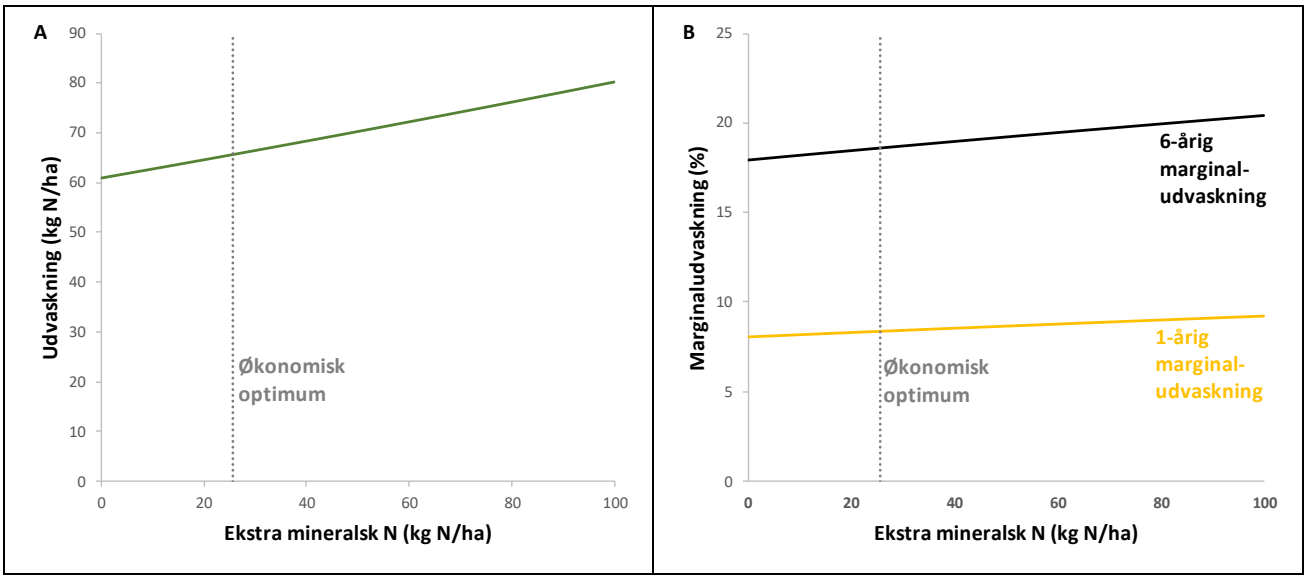
Tabel 1. Resultater for beregning af marginaludvaskningen, på basis af data fra Delin og Stenberg (2014), Engström et al. (2010), og Manevski et al. (2015).

Artikel	Afgrøder	Lokalitet	Marginaludvaskning ved N-norm (%)	Faktor i forhold til NLES4-gennemsnit (%)
Delin, Stenberg	Vinterraps	Götala, SV	14,0	175
Engström et al.	Havre	Götala, SV	23,8	298
Manevski et al.	Majs efter majs	Foulum, DK	98,9*	1236*
Manevski et al.	Majs efter majs	Jyndevad, DK	28,5	356
Manevski et al.	Majs efter majs, efterafgrøder	Foulum, DK	22,1	276
Manevski et al.	Majs efter majs, efterafgrøder	Jyndevad, DK	20,2	253
Manevski et al.	Majs efter kløvergræs	Foulum, DK	42,6	533
Manevski et al.	Majs efter kløvergræs	Jyndevad, DK	81,2	1015
Manevski et al.	Majs efter kl.græs, efterafg.	Foulum, DK	43,6	545
Manevski et al.	Majs efter kl.græs, efterafg.	Jyndevad, DK	64,2	803

*Indgår ikke i udregningen af gennemsnittet, da værdien er alt for høj til at kunne skyldes ekstra kvælstoftilførsel alene.

De 18 % (tidshorisont på 6 år og derover), henholdsvis 8 % (tidshorisont på 1 år), for marginaludvaskningen er landsgennemsnit. Tallene vil være højere for sandjord og lavere for lerjord. Andre faktorer, eksempelvis mængden af nedbør, vil også have indflydelse. Da datagrundlaget for de landsdækkende beregninger ikke er tilgængeligt, kan de præcise tal for marginaludvaskningen for gennemsnitlig lerjord og gennemsnitlig sandjord ikke angives her.

Sammenligningsgrundlaget for de her behandlede forsøg er den *gennemsnitlige* etårige NLES4-marginaludvaskning på landsplan, som er vist i figur 1B – 6B. På dette punkt er denne sammenligning på linje med sammenligningen foretaget i Tilbagerulningsnotatet. En mere præcis metode ville være at sammenholde med en NLES4-beregning for de specifikke forsøg. Dette er hverken udført her eller i Tilbagerulningsnotatet. Det vil sige, at man ikke kan forvente, at de enkelte forsøg viser samme forløb for marginaludvaskningen som NLES4's gennemsnitlige marginaludvaskningsforløb. Forventningen er, at man kan foretage en mere generel sammenligning. Når man sammenholder alle forsøgene, skal det samlede resultat således ikke afvige markant fra NLES4's gennemsnitlige marginaludvaskning. Denne forventning er ikke opfyldt her, da alle værdier for marginaludvaskningen er højere end NLES4-beregningen på landsplan, og den samlede afvigelse er meget markant.
Den herværende sammenligning adskiller sig især fra sammenligningen i Tilbagerulningsnotatet ved at sammenligne med en etårig NLES4-marginaludvaskning på 8 %, men adskiller sig også ved en mere omfattende databehandling af forsøgsresultaterne.



Figur 7. NLES4-beregnede landsgennemsnit for udvaskning (A) og marginaludvaskning (B). Udgangspunktet er kvælstofgødskning som i 2011. De lodrette stiplede linjer viser økonomisk optimum. Se afsnit 3 i Appendiks for detaljerne i beregningen af figurens kurver.

Den gennemsnitlige udvaskning og marginaludvaskning for landsdækkende NLES4-beregninger kan ses i figur 7. Det ses, at udvaskningen samt den et- og seksårige marginaludvaskning udgør næsten rette linjer med små hældninger. Ved en (hypotetisk) stigning i N-kvoten på 100 kg N/ha på landsplan, i forhold til situationen før landbrugspakken, udviser NLES4 en marginaludvaskning på 20,5 %, og dermed en stigning på 2,5 %. Størrelsen af stigningen i marginaludvaskningen i figur 7 i forhold til ekstra tilført kvælstof er i god overensstemmelse med beregningerne i Ørum et al. (2017, tabel 14).
En så lille stigning i marginaludvaskningen som 2,5 %, ved at gå fra ca. 16 % under økonomisk optimum til ca. 50 % over økonomisk optimum forekommer urealistisk. Forventningen er, at kurven for udvaskningen drejer relativt skarpt opad i et område nær økonomisk optimum, som det ses i mange forsøg (se f.eks. Lord og Mitchell, 1998; Engström et al., 2010; Delin og Stenberg, 2014). Om denne stigning sker lidt under eller lidt over økonomisk optimum, vides ikke med sikkerhed (Lord og Mitchell, 1998; Delin og Stenberg, 2014).
Højere udbytter kan øge den mængde af kvælstof, der skal til, før en markant stigning i marginaludvaskningen finder sted. En øget mængde efterafgrøder kan eksempelvis dæmpe denne stigning. Der

vil dog komme en stigning ved et givet kvælstofniveau. De forløb for udvaskning og marginaludvaskning på landsplan, der ses i figur 7, må derfor betragtes som urealistiske.

Alle NLES4-beregnede kurver for *udvaskningen* vil fremstå som nogenlunde rette linjer med en let krumning opad. Alle NLES4-beregnede kurver for *marginaludvaskningen* vil fremstå som næsten rette linjer med en lille stigning, og med en ganske let krumning nedad. Afvigelsen fra rette linjer i f.eks. figur 7 er svær at se med det blotte øje.
Som det ses i figur 1B – 6B, kan NLES4 ikke eftergøre typiske forløb af marginaludvaskningen. Årsagen hertil er NLES4's matematik, der altid vil beregne marginaludvaskninger, som stiger langsomt i forhold til øgede kvælstofmængder (se eksempelvis tabel 14 i Ørum et al., 2017). Den manglende evne til at beregne virkelighedsnære forløb af marginaludvaskningen er problematisk for en udvaskningsmodel, der skal operere tæt på det økonomiske optimum for kvælstoftilførsel. Netop området nær det økonomiske optimum udviser en stor dynamik i responsen på marginaludvaskningen (se Lord og Mitchell, 1998). Da det reelle økonomiske optimum yderligere varierer betydeligt fra år til år og fra sted til sted (f.eks. Lord og Mitchell, 1998; Delin og Stenberg, 2014) er det vigtigt, at den anvendte model har en kurveform for marginaludvaskningen, der kan afspejle et gennemsnitligt forløb for marginaludvaskningen i forhold til øget tilførsel af kvælstof.
En af de væsentligste egenskaber ved en velegnet model for marginaludvaskning, er at kunne forudsige, hvornår marginaludvaskningen begynder at stige markant, og hvor stor denne stigning forventes at være.

Denne analyse viser, at NLES4 ikke kan eftergøre et typisk forløb for marginaludvaskningen i forhold til øget tilførsel af kvælstof i markforsøg, og formentligt heller ikke kan beregne et realistisk forløb af marginaludvaskningen på landsplan.

De 5 artikler, der ligger til grund for vurderingen af NLES4-marginaludvaskningen i Tilbagerulningsnotatet, er behandlet i denne analyse med følgende resultater:

- Jævnfør figur 1 – 6 og tabel 1 udviser samtlige forsøg i Delin og Stenberg (2014), Engström et al. (2010), og Manevski et al. (2015) en betydeligt højere marginaludvaskning end NLES4 gennemsnittet på landsplan for etårige beregninger.
- Værdierne for marginaludvaskningen fra forskellige afgræsningssystemer (Wachendorf et al., 2004) kan ikke direkte sammenlignes med NLES4-værdier. En sammenligning ville kræve supplerende analyser.
- Pandey et al. (2015) anvender, efter alt at dømme, en beregningsmetode, hvis resultat ikke kan omsættes til marginaludvaskning fra ekstra tilført handelsgødning.

I Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5 vurderes det "*…at niveauet for marginaludvaskning beregnet med NLES4 er i overensstemmelse med det niveau, der er fundet i nationale og internationale studier, hvor der er gødet under økonomisk optimum"*.

I lyset af ovenstående behandling af de 5 artikler, samt de påviste fejl og mangler i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5, er der ikke grundlag for denne vurdering i de fremlagte data.

I Tilbagerulningsnotatet (side 12) anføres: "*Beregninger af marginaludvaskningen ved NLES3 og NLES4 på baggrund af tilført kvælstof med handels- og husdyrgødning samt fra kvælstoffiksering viser, at marginaludvaskningen i NLES3 stemmer bedre overens med målte data fra drænvandsundersøgelser ved Agervig og Sdr. Stenderup (referencer angivet i Petersen og Djurhuus, 2004) end NLES4.*"
Således har NLES4 en *dårligere* overensstemmelse med marginaludvaskningen for disse to forsøg end NLES3. NLES3 har en højere marginaludvaskning (ca. 30 - 33 %) end NLES4, der på landsplan har en marginaludvaskning på 18 %.
Forsøgene fra Agervig og Sdr. Stenderup er væsentlige i denne sammenhæng, fordi de udgør en betydelig del af de forsøg i NLES4-datagrundlaget, der har systematisk varierende kvælstoftilførsler i lighed med forsøgene bag figur 1 – 6.
Yderligere anføres følgende i Tilbagerulningsnotatet (side 12), med reference til NLES3: "*Marginaludvaskningen, beregnet med NLES4, er desuden i bedre overensstemmelse med resultater af nationale og internationale studier (se Afsnit 2.5).*"
Dette udsagn er ikke testet på kvantitativ basis i Tilbagerulningsnotatet, og det er usandsynligt, at udsagnet er korrekt. Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5 tager udgangspunkt i publikationerne Delin og Stenberg (2014), Engström et al. (2010) og Manevski et al. (2015). Der sammenlignes også med resultater fra Wachendorf et al. (2004) og Pandey et al. (2015). Disse sammenligninger har væsentlige metodiske problemer, som det er påpeget i denne analyse. NLES4-marginaludvaskningen er meget lavere end marginaludvaskningen fra de udvaskningsforsøg, Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5 omhandler (se tabel 1). Derfor er det usandsynligt, at en model som NLES3, der har en væsentlig højere marginaludvaskning end NLES4, skulle have en generelt dårligere overensstemmelse med marginaludvaskningen fra disse markforsøg.

I Tilbagerulningsnotatet er der ikke fremført resultater som understøtter, at NLES4-marginaludvaskningen skulle være mere korrekt end NLES3-marginaludvaskningen.

En model, der er central i forhold til vidtrækkende beslutninger, bør være grundigt testet. NLES3-modellen er blevet underkastet en systematisk test (Larsen og Kristensen, 2007), mens NLES4 ved vedtagelsen af Fødevare- og landbrugspakken ikke var blevet systematisk testet (se afsnit 7 i Appendiks). Den store forskel i de to modellers marginaludvaskning er, ud fra et datafagligt synspunkt, et klart advarselssignal. Trods dette, har man tilsyneladende valgt NLES4 på baggrund af, at denne NLES-version var nyest og havde det største datagrundlag. Disse egenskaber har ingen statistisk eller logisk sammenhæng med, hvilken model der beregner den mest retvisende marginaludvaskning på landsplan.
Afsnit 7 i Appendiks skitserer en simpel og hurtigt udført test, der kan indikere, om forskelle i modelstruktur eller datagrundlag er hovedårsagen til den lavere marginaludvaskning i NLES4.
Hvis forskellen i beregnet marginaludvaskning hovedsageligt er begrundet i forskellene i *modelstruktur* mellem NLES3 og NLES4, kan dette være forårsaget af subjektive valg ved opbygningen af modellerne. Skyldes de systematiske forskelle i marginaludvaskningen mellem de to NLES-versioner forskellige *datagrundlag*, skal man være opmærksom på at ca. ¾ af de data der indgår i opbygningen af NLES4 også indgår i opbygningen af NLES3. Hvis ca. ¼ af den samlede mængde data kan have så kraftig effekt på NLES4-parametrene, at marginaludvaskningen ændrer sig markant, er det problematisk. Se afsnit 7 i Appendiks for en uddybning.

Der er en stor og uforklaret forskel i marginaludvaskningen mellem de to modelversioner NLES3 og NLES4. Som det er skitseret ovenfor, indebærer dette, at der er væsentlige metodiske problemer ved den udregning af marginaludvaskningen, der er foretaget i Tilbagerulningsnotatet. Det er således meget problematisk, at der ved vedtagelsen af Fødevare- og landbrugspakken ikke var redegjort for følgende centrale spørgsmål:

- I hvilket omfang er forskellen i marginaludvaskning betinget af forskelle i modelstruktur, og i hvilket omfang er den betinget af forskelle i datagrundlag?
- Hvilke specifikke forhold i henholdsvis NLES3 og NLES4 (struktur samt datagrundlag) er årsag til forskellen i marginaludvaskningen?
- Hvilken model har den mest retvisende udregning af marginaludvaskningen, og hvilke kriterier kan man opstille for at afgøre dette?

Ovenstående tre spørgsmål skal afklares, før det er muligt at gennemføre en faktabaseret diskussion af, om der bør ske justeringer i marginaludvaskningen i forhold til hidtidige antagelser om en værdi på ca. 30 %.

Konklusion

NLES4-marginaludvaskningens forløb i forhold til stigende kvælstofmængder afviger fra de beregnede forløb ud fra forsøgsdata (figur 1B – 6B). Herudover er det generelle niveau for marginaludvaskningen beregnet med NLES4 markant lavere (tabel 1) end de marginaludvaskninger, der kan udregnes fra forsøgsresultaterne.

På basis af de data, som Aarhus Universitet har valgt til at understøtte de landsdækkende NLES4-beregningers overensstemmelse med forsøgsresultater, må det konkluderes, at NLES4 ikke er et relevant værktøj til virkelighedsnære beregninger af marginaludvaskningens forløb i forhold til tilbagerulning af gødskningsnormer, jvf. Tilbagerulningsnotatet. Yderligere er valget af NLES4 frem for NLES3 vilkårligt, da det ikke er sket ud fra systematiske kvalitetskriterier.

Der er ikke forskningsmæssigt belæg for Fødevare- og landbrugspakkens sænkning af den beregnede marginaludvaskning på landsplan fra 30 -33 % til 18 %.

Appendiks: Teknisk uddybning

1. Marginaludvaskningens størrelse

NLES4-marginaludvaskningen på landsplan kan, ud fra side 8 i Tilbagerulningsnotatet, udregnes således:
Ekstra tilført gødning = 69.500 ton N
Forøget udvaskning (tabel 2, GV-opsætning) = 12.600 ton N
Marginaludvaskning = 100 %·12.600/69.500 = 18,1 %.

Alternativt kan NLES4-marginaludvaskningen på landsplan udregnes fra Tabel 1 i notatet af Børgesen et al. (2017). Dette gøres med et arealvægtet gennemsnit af tabelværdierne, der giver 17,9 %.

Begge udregninger er baseret på afrundede tal. Gennemsnittet af de to udregninger giver 18,0 %, som er det bedste estimat ud fra de data der er tilgængelige.

2. Interpolation af forsøgsresultater

Der anvendes en approksimation for udvaskningen fra Delin og Stenberg (2014) af formen

$$Y = Y_0 + ae^{(bN)}$$

hvor y er den approksimerede udvaskning, y_0, a og b er koefficienter tilpasset hvert forsøg med least-squares metoden, og N er mængden af tilført mineralsk kvælstof. Da marginaludvaskningen er den 1. ordens afledte af udvaskningen, kan denne udregnes fra formel og koefficienter.
Denne metode har begrænsninger, da der ikke er en mekanisme, der sikrer at marginaludvaskningen ikke overstiger 100 %. Dette bør principielt ikke forekomme. Udregningen af en fysisk-biologisk grænse for marginaludvaskningen for hvert forsøg, blandt andet ud fra markkapacitet, perkolation og estimeret gasformigt tab ville blive særdeles kompliceret og potentielt vildledende. Herudover ville en sådan metode bidrage til en *højere* marginaludvaskning i nærheden af N-niveauet ved normgødskning, så undladelsen af denne metode vil i gennemsnit give en lidt *lavere* marginaludvaskning. Den simple metode er bibeholdt, vel vidende at kurven for udvaskningen ved værdier noget over normgødskningen kan have en overdrevet stigning. Dette er formentlig tilfældet ved figur 4B for Foulum lokaliteten.

Ved udarbejdelsen af figur 1A (Delin og Stenberg, 2014) blev artiklens koefficienter fra side 294 anvendt.

For to af forsøgene (figur 4A, Jyndevad lokalitet og figur 6A, Jyndevad lokalitet) var en lineær interpolation bedst egnet. Der er dog her tale om to helt rette linjer, således at interpolationens resultat er kontinuert og differentierbart.

Interpolationsmetoden for denne type data vil altid være et valg. Andre egnede metoder, til dannelse af en interpoleret kontinuert og differentierbar kurve ud fra disse forsøgsdata, vil give det samme principielle billede som herværende interpolationsmetoder.

En stykvis lineær interpolation er simpel, men kan være problematisk i denne sammenhæng, da den oftest ikke er kontinuert og differentierbar. Tag for eksempel de gennemsnitlige udvaskningsdata fra Engström et al. (2010). Her vil en stykvis lineær approksimation af marginaludvaskningen ved 149 kg N/ha give 10 %, en approksimation af marginaludvaskningen ved 150 kg N/ha vil ikke være muligt at udføre (diskontinuert funktion) og approksimationen for marginaludvaskningen ved 151 kg N/ha vil give en marginaludvaskning på 52 %. Det store spring i marginaludvaskningen fra 149 kg N/ha til 151 kg N/ha er et artefakt af den stykvist lineære interpolation.

Vedr. fodnoten på side 2 betragtes den lineære interpolation som den interpolationsmetode der giver den laveste værdi for udsagn af typen "marginaludvaskningen var mindre end X % ved gødningsniveau under gældende kvælstofnormer". Som det ovenstående eksempel viser, kan denne værdi for X samtidig være vildledende.

3. Marginaludvaskningens forløb i NLES4

Ud fra specifikationerne i Kristensen et al. (2008) er der opbygget en implementering af NLES4. Denne implementering er verificeret ved at sammenholde scenarierne i Kristensen et al. (2008) figur 2 og Appendiks 1 med den nye implementering. Resultaterne var overensstemmende.

NLES4-marginaludvaskningen i figur 1B – 7B er dannet ud fra en NLES4 simulering, der tager udgangspunkt i de 4 simuleringer, som vises i figur 2 i Kristensen et al. (2008). Gennemsnittet af disse 4 NLES4-opsætningers udvaskning er anvendt, med forholdet mellem ler- og sandjord samt med og uden vinterdække vægtet, således at den flerårige marginaludvaskning giver 18 % ved gødningstilførsel som i 2011. Herudfra simuleres forløbet af den etårige marginaludvaskning på landsplan. Denne enkle metode kan give en mindre afvigelse, da det er ikke muligt at eftergøre det helt præcise forløb uden at have data fra GV-opsætningen af NLES4 til rådighed (Børgesen et al., 2015). Data passer dog godt med GV beregningerne i Børgesen et al. (2013). Udvaskningen på landsplan med herværende forenklede opsætning har samme gennemsnit som de fulde beregninger for 2007 – 2011 i tabel 3 i Børgesen et al. (2013). Korrelationen på årsniveau mellem den fulde GV-opsætning og den herværende opsætning er 0,85, hvilket viser en god overensstemmelse. Marginaludvaskningen er 18 % for både den fulde opsætning (Børgesen et al., 2015) og for herværende opsætning.
Ved gødskning på 100 henh. 200 kg N/ha viser tabel 14 i Ørum et al. (2017) en gennemsnitlig stigning i marginaludvaskningen for 15 kombinationer af afgrøde, jordtype, dyreenheder og efterafgrøder fra 17,3 % til 19,6 %, dvs. 2,3 %. Herværende NLES4-opsætning udviser en stigning fra 2011 gødningsniveau til 100 kg N/ha mere i mineralsk kvælstof en stigning fra 18 % til 20,5 %, dvs. 2,5 %.
Børgesen et al. (2018) fandt at marginaludvaskningen omkring optimal gødningsnorm i 2011 steg ca. 1 %. I herværende opsætning steg marginaludvaskningen 0,7 %. Forskellen kan formentlig overvejende tilskrives en oprunding i Børgesen et al. (2018).
Stigningen i marginaludvaskningen med stigende kvælstofmængder er således på linje med publicerede NLES4-beregninger.

Det er således verificeret, at den anvendte version af NLES4 giver samme resultater som den originale NLES4. Det er yderligere verificeret, at den her anvendte opsætning for beregninger på landsplan giver resultater der er på linje med de originale NLES4-opsætninger i Børgesen et al. (2013) og i Tilbagerulningsnotatet.

Ser man på forløbet for udvaskningen af NLES4 ved stigende N-tilførsel, vil der være tale om en kurve med meget svag krumning, se figur 7A (se også Ørum et al., 2017; figur 6 og 7). Differentierer man disse kurver i forhold til kg N tilført, vil marginaludvaskningen visuelt være endnu sværere at skelne fra en ret linje, se figur 7B. Yderligere er der tale om en kurve, der bøjer ganske let nedad, hvilket skyldes værdien af parameteren "κ" (1,5) i NLES4.

Sammenlignet med de ovennævnte mulige afvigelser på marginaludvaskningens forløb på landsplan ved stigende N-mængder i forhold til de originale beregninger i GV-opsætningen (Børgesen et al., 2015), knytter der sig en større variation til den forenkling, der ligger i at tage den gennemsnitlige etårige udvaskning på 8 % som sammenligningsgrundlag for alle de behandlede forsøg. Denne forenkling bevirker en undervurdering af afvigelsen mellem forsøg og NLES4 for lerjordene i Delin og Stenberg (2014) og Engström et al. (2010) og en overvurdering af afvigelsen for forsøgene på sandjord i Manevski et al. (2015). Forskellene mellem NLES4-marginaludvaskningen og marginaludvaskningen afledt fra forsøgene er så store, at dette ikke har nogen betydning i forhold til konklusionerne i herværende analyse.

4. Marginaludvaskning for forskellige tidshorisonter

For langt de fleste inputkombinationer til NLES4 vil variablen T være større end 0 (se Kristensen et al., 2008 for beskrivelsen af NLES4).
I disse tilfælde, og ved en given, fastlagt kombination af årstal, sædskifte, perkolation og jordbundsforhold kan NLES4 omskrives til følgende ligningssæt:

$$T = k_1 + \hat{\beta}_1 N_{level} + \hat{\beta}_2 \left(N_{spring} + N_{fix}\right) + \hat{\beta}_3 N_{excretion} + \hat{\beta}_4 N_{autumn} \qquad \text{(ligning 1)}$$

$$Y = (U + T^{1.5}) k_2 \qquad \text{(ligning 2)}$$

Hvor
Y = beregnet udvaskning (kg N/ha).
N_{level} = gennemsnitlig tilførsel af N (kg N/ha/år) fra handelsgødning, husdyrgødning, afsætning fra græsning samt N-fiksering i de fem år før det aktuelle år.
N_{spring} = tilført mineralsk N (kg N/ha/år) i perioden 15/2 – 1/9 i det aktuelle år.
N_{fix} = mængden af N-fiksering (kg N/ha/år) i det aktuelle år.
$N_{excretion}$ = mængden af N (kg N/ha/år) afsat under græsning i det aktuelle år.
N_{autumn} = mængden af N i handelsgødning tilført om efteråret og ammonium-N (kg N/ha/år) i husdyrgødning tilført om vinteren i det aktuelle år.
$k_1 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_5 f_{c/n} C_{total} + \hat{\gamma}_{s.c.} + \hat{\gamma}_{w.c.} + \hat{\lambda}_{p.s.c} + \hat{\lambda}_{p.w.c.} + \hat{\eta}_{e.s.}$
$k_2 = M\hat{c}$

Symbolerne β_0 - β_5, *M, c, U,* $f_{c/n}$, C_{total}, γ_*, λ_*, η_* er defineret i Kristensen et al. (2008).

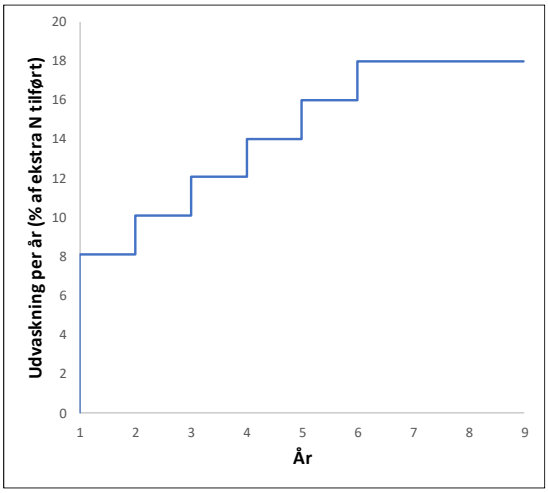
Bemærk at NLES4 er baseret på udvaskningsår, der ikke er lig med kalenderår. Denne skelnen er vigtig i andre sammenhænge, men har ikke implikationer for de herværende analyser.

Her undersøges tidsforløbet af marginaludvaskningen, i forhold til N_{level} og N_{spring}, som er de to input-variabler, der især vil ændre sig ved en lempelse af gødningsreglerne. For den nedenstående udregning antages alle andre input-variabler end N_{level} og N_{spring} uændrede. Over en 6-års periode vil N_{level} stige kontinuert ved en øget kvælstoftilførsel. Efter disse seks år, vil der være en ændring i udvaskningen, her kaldet ΔY_6. Et centralt spørgsmål er, hvor stor ΔY_1 (ændringen i udvaskningen efter 1 år) er i forhold ΔY_6 (ændringen i udvaskningen efter 6 år). Ud fra ligning 1 og 2, og med infinitesimal ændring af kvælstoftilførslen vil 1. års ændring være

$$\Delta Y_1 = \frac{\Delta Y_6 \hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2} = \frac{\Delta Y_6 \cdot 0.094}{0.094 + 0.115} = 0.45 \cdot \Delta Y_6$$

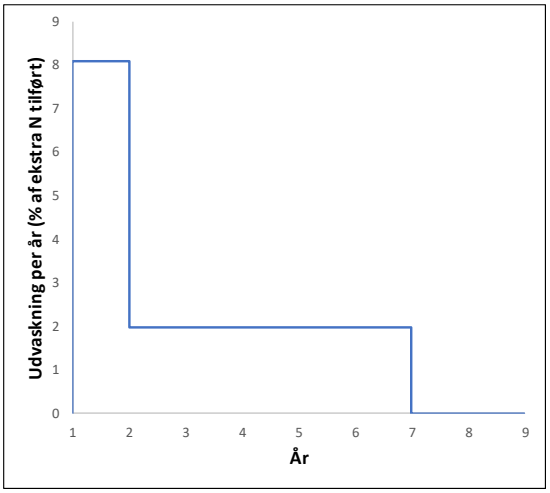
Ved større ændringer kan der optræde en vis nonlinearitet, som kan ændre forholdet mellem ΔY_1 og ΔY_6. Ved de ændringer, der er tale om i sammenhæng med Fødevare- og landbrugspakken, vil dette højst forårsage en mindre forskydning, da NLES4 ikke har markant nonlinearitet i sin kvælstofrespons.

Figur A1 viser hvorledes NLES4 vil udregne marginaludvaskningen på landsplan for en flerårig, konstant stigning i forårstilført kvælstof, set i forhold til marginaludvaskningen efter 6 år med øget kvælstoftilførsel.



Figur A1. Den NLES4-predicerede %-del af udvasket N i forhold til den ekstra tilførte mængde ved en permanent stigning i kvælstoftilførslen.

Den tidslige dynamik i NLES4 kan yderligere anskueliggøres ved at foretage en forenklet konsekvensberegning på landsplan af et enkelt års stigning i tilførslen af mineralsk N (figur A2). Her ses, at konsekvensen er størst i første år (8 % af det ekstra tilførte kvælstof udvaskes) og i hver af de efterfølgende 5 år bliver 2 % af det ekstra tilførte N udvasket, således at der samlet udvaskes 18 % af det ekstra tilførte N.



Figur A2. Den NLES4-predicerede %-del af udvasket N per år, i forhold til en engangstilførsel af en ekstra mængde N.

Udregningerne i dette afsnit er verificeret via beregninger fra den NLES4-implementering (se Appendiks, afsnit 3) der er opbygget til herværende formål. Beregningerne fra NLES4-implementeringen giver de samme resultatet som de ovenstående betragtninger, inklusive figur A1 og A2.

5. Varighed af de inddragede markforsøg

En væsentlig fejl i valideringen af NLES4 i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5, er sammenholdningen af marginaludvaskningen fra etårige forsøg med marginaludvaskningen fra flerårige beregninger. For at undgå fejlslutninger i herværende analyse, er det undersøgt grundigt, om forsøgene i publikationerne Delin og Stenberg (2014), Engström et al. (2010) og Manevski et al. (2015) vitterligt er etårige. Mere præcist udtrykt er der tale om etårige forsøg, der er gentaget i 2 (Engström et al., 2010) eller 3 (Delin og Stenberg (2014; Manevski et al., 2015) år. *Forsøgsrækken* strækker sig således over flere år, men de enkelte forsøg er ikke flerårige. Dette ville kræve, at der er videreført en gradueret gødningsmængde i samme parcel over flere år.

På side 292 (afsnit 2.1 i Delin og Stenberg, 2014) står der:
"*Bi-annual field trials were conducted with spring oats (Avena sativa L.) as the first crop in three consecutive years (2007, 2008 and 2009). Each trial had the first year seven N fertilization treatments (Table 1) distributed randomly within each of four blocks. The following crop was winter wheat (Triticum aestivum L.) (2008 and 2010) or spring barley (Hordeum vulgare L.) (2009) which received the same rate throughout the experiments, according to local recommendations for each crop (160 and 90kg N ha^{-1} for winter wheat and spring barley, respectively)*."
Det vil sige, at der det første år dyrkes havre med 7 forskellige gødningsniveauer. Derefter er der enten dyrket vinterhvede eller vårbyg med en fast gødningstildeling. Målingen af udvaskningen sker fra april (hvor havren lige er sået) indtil juni næste år (se afsnit 2.4, side 293). Man måler derfor "ind i" den efterfølgende afgrødes vækstperiode, hvilket er grunden til at denne efterfølgende afgrøde nævnes. Dette er standard metodik.
Her er således ikke dyrket havre efter havre 3 år. Der er heller ikke videreført en gradueret gødningsmængde. Hvis ikke der er videreført en gradueret gødningsmængde, er det ikke et flerårigt

forsøg ift. gødningsmængden, men et etårigt forsøg gentaget tre år i træk. Det kan med sikkerhed udelukkes, at der i Delin og Stenberg (2014) er videreført en gradueret gødningsmængde per markparcel over 3 år.

Vedrørende Engström et al. (2010) er der undersøgt de samme eksperimenter (E – H, tabel VI side 343) som er behandlet i Tilbagerulningsnotatet. Eksperimenterne E – H er de eksperimenter der giver en N-responskurve (figur 3A, side 344).
På side 338 (afsnit 2.2) star der om vinterrapsen:
"*In six of the nine treatments (D-I), WOR (Brassica napus L.) was sown in 6 m × 30 m plots on 18 August 2004 in experiment 1 (cv. Kronos, 4 kg ha−1) and on 25 August 2005 in experiment 2 (cv. Calypso, 6.5 kg ha^{-1}).*"
"WOR" = Winter oilseed rape = vinterraps.
Om den efterfølgende afgrøde står der (side 339, afsnit 2.2):
"*After harvest of WOR, peas and oats, winter wheat (cv. Harnesk and Olivin) was established in all treatments except C.*"
Der står "peas and oats" fordi forsøgene A – C blev udført med havre og ærter (såkaldt blandsæd). Her ser vi kun på forsøg E-H med vinterraps. Altså, det efterfølgende år sås der vinterhvede efter rapsen i forsøg E-H.
Her er således ikke dyrket vinterraps efter vinterraps i 2 år. Der er heller ikke videreført en gradueret gødningsmængde. Man ville i øvrigt ikke så vinterraps efter vinterraps på grund af risiko for opformering af sygdomme. Da der intet er anført om en gradueret gødningsmængde efter rapsen, er det ikke et flerårigt forsøg ift. gødningsmængden. Herudover er der anført perioden 2004/2005 ved udvaskningen fra første eksperiment og perioden 2005/2006 ved udvaskningen fra andet eksperiment (tabel III, side 341). Dette dækker kun én udvaskningssæson. Et flerårigt forsøg ift. gødningsmængden skal dække flere udvaskningssæsoner.
Det kan med sikkerhed udelukkes, at der i Engström et al. (2010) er videreført en gradueret gødningsmængde per markparcel over 2 år.

Halvdelen af delforsøgene i Manevski et al. (2015) omhandler majs efter etableret kløvergræs. Her kan man således ikke udføre et forsøg tre år i træk med majs med forskellige gødningsmængder. Det kan med sikkerhed udelukkes, at der i Manevski et al. (2015) er videreført en gradueret gødningsmængde over de 3 år for majs efter kløvergræs.
Når det gælder majs efter majs, ville det være en bemærkelsesværdig forglemmelse ikke at beskrive klart i artiklens metodeafsnit, hvis majs efter majs blev dyrket tre år i træk, og for alle tre års vedkommende med samme gødningsmængde for hver videreført parcel. Det ville i givet fald også være et forsøg, der ikke kunne sammenholdes med majs efter kløvergræs. Skulle det, på trods af, at det ikke er angivet i artiklen, være tilfældet at der er dyrket tre års majs efter majs med bibeholdelse af gødningsniveauet på samme parceller, gør det udregningsmæssigt ikke nogen større forskel. I givet fald ville det blot betyde, at i stedet for 45 % af den samlede marginaludvaskning, skulle man her regne med (45 % + 56 % + 67 %)/3 = 56 % (se figur A1) af den samlede marginaludvaskning. Der ville med andre ord fortsat være en betydelig forskel på måling og model, jf. de store forskelle tabel 1 udviser.

Selv om det er usandsynligt, kan det ikke udelukkes, at der i Manevski et al. (2015) er videreført en gradueret gødningsmængde over de 3 år for majs efter majs. Beregningsmæssigt er forskellen beskeden, og har ingen betydning for konklusionen.

6. Sammenligning af marginaludvaskning på tværs af dyrkningssystemer

Proceduren ved specifikke undersøgelser af udvaskningens forløb i forhold til tilført kvælstof vil normalt være at anvende samme sædskifte og kun anvende samme slags gødning (f.eks. Lord og Mitchell, 1998; Goulding et al., 2000; Engström et al., 2010; Delin og Stenberg, 2014). Denne praksis sikrer mindst mulig sammenblanding af faktorer. Der refereres i Tilbagerulningsnotatets afsnit 2.5 til artiklen Pandey et al. (2015), som ikke er publiceret. Ud fra de oplysninger, der er givet i Tilbagerulningsnotatet, er det således ikke muligt at kontrollere beregningerne. Ud fra de tilgængelige informationer kan det ses, at artiklen omhandler de forsøg, der er beskrevet i Olesen (2013), Olesen (2014), Pandey et al. (2017) og Shah et al. (2017).

I disse forsøg er der anvendt to sædskifter og tre dyrkningssystemer:

Sædskifte 1: et rent økologiske sædskifte (kaldet "O2") hvor der blev der dyrket vårbyg, kløvergræs, blandsæd/lupin/kartofler[2] og vinterkorn, med tre kombinationer af gødning og efterafgrøder. Kløvergræsset blev anvendt til grøngødning.

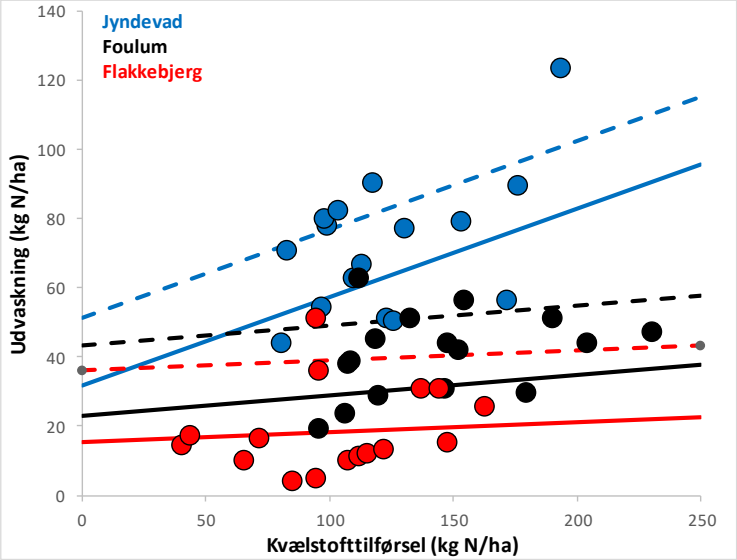
Sædskifte 2: salgsafgrøder, dyrket både økologisk (kaldet "O4") og konventionelt (kaldet "C4"). Dette sædskifte bestod af vårkorn, blandsæd/lupin/hestebønne[2], kartofler og vinterhvede. Der var tre kombinationer af gødning og efterafgrøder for det økologiske dyrkningssystem, mens det konventionelle dyrkningssystem havde fuld gødningsmængde, med og uden efterafgrøder.

Der er således otte kombinationer, alle med to gentagelser. Derudover er der tre lokaliteter: Jyndevad, Foulum og Flakkebjerg.

Ud fra de tilgængelige artikler kan hovedtrækkene i beregningerne også eftergøres. Forsøgene opererer med en sum af kvælstof i mineralsk gødning, i organisk gødning og i afgrøderester.
Organisk bundet kvælstof har en anden tidslig dynamik end mineralsk kvælstof. For mange typer husdyrgødning er hovedparten af kvælstoffet mineralsk. Her kan man sammenholde dynamikken, selv om man talmæssigt ikke får helt samme resultater for henholdsvis optag i planten, jordpuljeændring og udvaskning. Kvælstof fra afgrøderester har en helt anden dynamik over tid end både mineralsk kvælstof og kvælstof fra husdyrgødning i forhold til planteoptag, jordpuljeændring og udvaskning.
Herudover kræver en forsøgsmæssig fastlæggelse af udvaskning og marginaludvaskning i forhold til kvælstoftilførsel (uanset type), at man opererer i samme sædskifte. I disse forsøg opererer man med to meget forskellige sædskifter, hvor man tilsvarende kan forvente meget forskellige opbygninger af kvælstof i jordpuljen. Olesen (2013) skriver om forsøgene: "*Figur 2 viser, at kvælstofoverskuddet ikke formår at beskrive forskelle i kvælstofudvaskning mellem forskellige dyrkningssystemer inden for*

[2] Sædskifterne varierede gennem perioden 1997 – 2008, se Shah et al. (2017).

samme lokalitet. Det skyldes formentlig, at der kan være store forskelle i systemerne med hensyn til, om der sker en ophobning eller nedbrydning af organisk stof i jorden."
Kvælstoffiksering (biologisk optag af kvælstof fra atmosfæren) spiller en væsentlig rolle i sammenligningerne mellem de forskellige dyrkningssystemer. Denne fiksering er tilsyneladende (Pandey et al., 2017) estimeret med metoden fra Høgh-Jensen et al. (2004). Denne metode er relativt enkel at anvende, men giver samtidig et estimat med usikkerhed (Unkovich et al., 2008). Kvælstofisotop-teknikker anses ofte for den bedste metode (Unkovich et al., 2008), der sætter en målestok for andre metoder, herunder for metoden fra Høgh-Jensen et al. (2004). En systematisk over- eller undervurdering af kvælstoffikseringen ville have stor betydning for de foretagne beregninger.
Ved en sammenligning mellem sædskifter med nedbrydning eller ligevægt af organisk kvælstof i jorden, og sædskifter med stor opbygning af organisk kvælstof i jorden, vil forsøgene med stor opbygning af kvælstof i jorden på grund af store mængder kvælstof i planterester ofte have en lavere udvaskning i forhold til mængden af tilført kvælstof inklusive planterester.



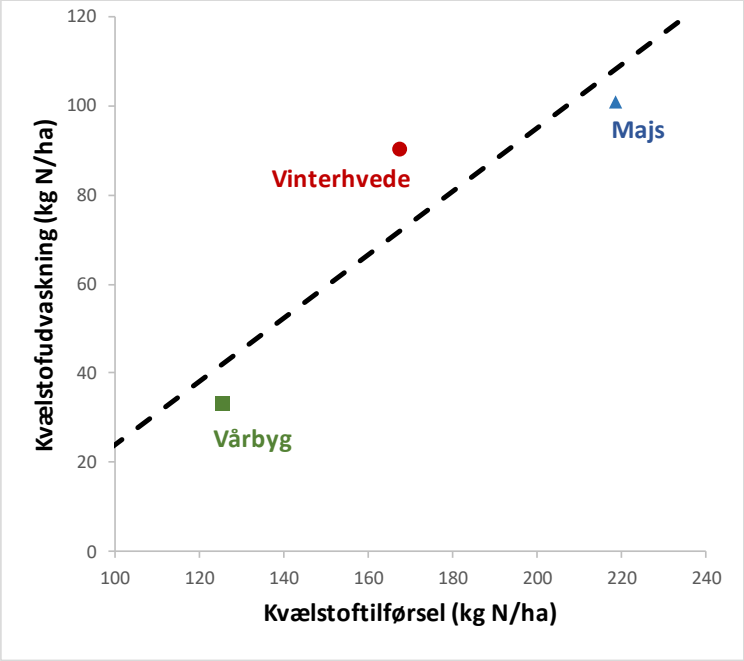
Figur A3. Kvælstofudvaskning i sædskifteforsøgene ved Jyndevad, Foulum og Flakkebjerg som gennemsnit for perioden 2005 -2008. De fuldt optrukne regressionslinjer er for sædskifter med efterafgrøder, og de stiplede linjer er tilsvarende for sædskifter uden efterafgrøder. Dannet ud fra figur 1 i Olesen (2013).

Samme type betragtninger som i figur A3 ligger tilsyneladende til grund for udregningen af marginaludvaskningen på tværs af sædskifter i Pandey et al. (2015).
Olesen (2013) skriver herom: "*Det har ofte været antaget at en mertilførsel på 10 kg N/ha resulterer i en øget udvaskning på omkring 3 kg N/ha. Ofte benyttes matematiske modeller til at beregne, hvor stor denne marginaludvaskning er. Modellerne afviger en del, men som gennemsnit fås en meduddvaskning på 1,8 og 4,7 kg N/ha for mertilførsel på 10 kg N/ha ved henholdsvis lavt og højt gødskningsniveau. Generelt findes også en større effekt på sandjord sammenlignet med lerjord.*
Her er der i figur 1 udnyttet data fra langvarige forsøg med planteavlssædskifter til at undersøge udvaskningens afhængighed af kvælstoftilførsel i gødning og planterester. Forsøget er gennemført med økologiske og konventionelle planteavlssædskifter og afspejler det nuværende gødningsniveau i danske planteavl. Figuren viser at marginaludvaskningen varierer mellem forsøgssteder med værdier

på 0,3, 0,7 og 2,6 kg N/ha for mertilførsel på 10 kg N/ha ved henholdsvis Flakkebjerg, Foulum og Jyndevad."

Der er foretaget lineære regressioner for hver lokalitet (Olesen, 2013), opdelt i to grupper (med og uden efterafgrøder. Hældningerne for regressionslinjerne for Jyndevad er 26 %, for Foulum 6 % og for Flakkebjerg 3 %, se figur A3. De to linjer for hver lokalitet (+/- efterafgrøder) er tilsyneladende beregningsmæssigt låst til at have samme hældning. Det må antages, at det er detaljeforskelle eller opdatering af datagrundlaget, som ligger bag de mindre forskelle, der er mellem disse værdier og værdierne i Tilbagerulningsnotatet på henholdsvis 27, 8 og 1 %.

Beregningen af regressionslinjernes hældning i Olesen (2013) resulterer ikke i tal, der har direkte sammenhæng med marginaludvaskningen fra de respektive dyrkningssystemer.
Dette forhold kan lettest anskueliggøres ved at konstruere et eksempel: tre forskellige, simple sædskifter: 1) vårbyg med efterafgrøder, 2) vinterhvede og 3) majs med efterafgrøder. Alle tre sædskifter er således monokulturer, i forhold til hovedafgrøden, og dyrkes på sandjord. Kornafgrøderne gødes med handelsgødning, mens majsen gødes med kvæggylle. Dette hypotetiske forsøg baserer sig på NLES4-beregnede udvaskningsværdier. Den lineære regression for de tre punkter ses i figur A4.



Figur A4. NLES4-beregnet mangeårig kvælstofudvaskning fra tre simple sædskifter på sandjord: vårbyg med efterafgrøder, majs med efterafgrøder og vinterhvede. Den stiplede linje repræsenterer en lineær regression for de tre punkter.

Regressionslinjen i figur A4 har en hældning på 71 %. Marginaludvaskningen, beregnet med NLES4, er 18 % for vårbyg med efterafgrøder, 25 % for majs med efterafgrøder og 28 % for vinterhvede. Uanset hvilke arealkombinationer man vælger med disse tre simple sædskifter, vil den gennemsnitlige NLES4-marginaludvaskning være under halvdelen af regressionslinjens hældning.

Der kan konstrueres adskillige eksempler af denne type, også med mere komplekse sædskifter. Nogle af disse eksempler vil udvise marginaludvaskninger, der er af samme størrelsesorden som NLES4-marginaludvaskningerne for de enkelte forsøg. Andre eksempler vil udvise endnu større forskelle mellem regressionslinjen og de enkelte NLES4-marginaludvaskninger end i eksemplet i figur A4.
Som ovenstående eksempel illustrerer, er det ikke retvisende at foretage denne type af regressionsanalyse (Olesen, 2013) på tværs af forskelle i sædskifter og gødningstyper, hvis formålet er at finde en form for fælles eller overordnet marginaludvaskning. Der er for store forskelle mellem de mange tænkelige dyrkningssystemer, i forhold til, at en så enkelt beregnet sammenligning skulle være gyldig. Disse forskelle inkluderer afgrødens evne til at optage kvælstof ved stigende tilførsel, gødningstypens tidsmæssige tilgængelighed, kvælstoffikseringens respons på øgede mængder tilført gødning, den generelle kvælstoftilgængelighed i henholdsvis konventionelle og økologiske sædskifter og jordpuljens dynamik.
Den anvendte metode kan bruges til at give en grafisk fremstilling af, hvilke konsekvenser et skifte, fra et dyrkningssystem til et andet dyrkningssystem, vil have for udvaskningen, på en given lokalitet. Muligheden for at udregne en stringent værdi for marginaludvaskningen afgrænser sig til en regression (lineær eller nonlineær) indenfor samme dyrkningssystem og lokalitet, som det er gjort for figur 1 - 6.

Artiklen Pandey et al. (2015) er, som tidligere nævnt, ikke publiceret. Det er således ikke transparent, hvordan man har udregnet det interval for marginaludvaskningen mellem 1 – 27 %, der angives i Tilbagerulningsnotatet. Under forudsætning af, at der er anvendt den samme type af beregninger som i Olesen (2013), har intervallet 1 – 27 % ikke sammenhæng med marginaludvaskningerne fra de sædskifter, der indgår i Pandey et al. (2015). Talmæssigt kan værdierne tænkes at være nogenlunde overensstemmende med sædskifternes marginaludvaskning. I givet fald ville dette dog være et tilfælde.

7. Egenskaber for NLES-modellerne

En model til numeriske forudsigelser skal:

1) have en struktur, der er egnet til formålet,
2) være udviklet på et datasæt, der er egnet til formålet,
3) have en acceptabel forklaringsgrad, f.eks. udtrykt som den kvadrerede korrelationskoefficient, r^2.

I forhold til rene teoretiske, akademiske betragtninger er det ikke ualmindeligt at slække på kontrollen af, om modellen opfylder de tre ovenstående kriterier. Dette skyldes formentligt, at det er en ressourcekrævende opgave at lave en grundig test af en model.
Når der derimod er tale om en model, der skal anvendes i praksis, og yderligere er central i forhold til vidtrækkende beslutninger, bør modellen være grundigt testet.

Ved tidspunktet for vedtagelsen af Landbrugspakken var NLES4 ikke blevet systematisk testet i forhold til, om den opfylder disse tre kriterier.

Der var heller ikke udført mere grundlæggende tests, som typisk omfatter en vurdering af modelusikkerheden og en validering på et datasæt, der ikke er anvendt til udvikling af modellen. Er et uafhængigt datasæt ikke til rådighed, kan en krydsvalidering i mange tilfælde erstatte en validering på et fuldt uafhængigt datasæt.
Der er udført en sådan grundlæggende test af NLES3 (Larsen og Kristensen, 2007), men ikke af NLES4.

Det er særdeles bemærkelsesværdigt, at NLES4 er blevet anvendt til analyser med potentielt store implikationer, uden en forudgående grundlæggende test. Selv om en sådan test havde været udført, ville det være bemærkelsesværdigt, at NLES4 er blevet anvendt uden en grundig test af, om de ovenstående kriterier 1 – 3 var opfyldt. En undersøgelse af, hvorvidt disse kriterier er opfyldt, vil have et betydeligt element af erfaringsbaseret "håndværk".

Et centralt spørgsmål i denne forbindelse er, om ændringen fra ca. 30 % til 18 % marginaludvaskning er "datadrevet" eller "modeldrevet". Ved modeldrevet forstås her, at mangler og begrænsninger i modellens struktur kan overskrive eller fordreje den implicitte struktur data har, således at der er væsentlig forvrængning knyttet til modellens forudsigelser.
NLES3 er udviklet på baggrund af 1299 observationer, og NLES4 på baggrund af 1467 observationer. Ikke alle observationer brugt til udviklingen af NLES3 bruges i NLES4. Ca. ¾ af de data, der indgår i udviklingen af NLES4, indgår også i udviklingen af NLES3. Denne andel på ca. ¾ kan estimeres ud fra tabel 1 i Larsen og Kristensen (2007), sammenholdt med tabel 5 i Kristensen et al. (2008).

En relativt simpel test kan give en god indikation af, om ændringen i marginaludvaskningen er datadrevet eller modeldrevet.
Testen består i at estimere parameterværdierne i NLES4 på basis af de observationer, der udgør datagrundlaget for NLES3. Der er to muligheder:

A) NLES4 vil stadig give en marginaludvaskning, der ikke afviger markant fra 18 %.
B) NLES4 vil give en marginaludvaskning, der ikke afviger markant fra ca. 30 %.

Begrebet "afviger markant" har et subjektivt element, og resultatet kan derfor ligge mellem disse to hovedmuligheder.

Under antagelse af, at resultatet er klart, vil *mulighed A* betyde, at forskellen i marginaludvaskningen er modeldrevet, og dermed at kriterie 1 (vedr. egnet modelstruktur) ikke er opfyldt for en eller begge NLES-modeller. Hvis dette viser sig at blive bekræftet, vil det sige, at forskellen i marginaludvaskningen overvejende hviler på forskelle mellem de to modelstrukturer. Sådanne forskelle kan være resultater af subjektive eller arbitrære valg. Dette ville være et problematisk udgangspunkt i forhold til at hævde, at NLES4-marginaludvaskningen skulle være mest retvisende.

Mulighed B vil indebære, at forskellen er datadrevet. Hvis dette er tilfældet, vil der samtidig være en markant årsag til, at ca. ¼ af datagrundlaget for NLES4 kan forårsage en omfattende ændring i modelparametre. Dette ville indebære mindst en af følgende muligheder:

- at NLES4 har et problem med robustheden og stabiliteten af parameterestimeringen, hvilket en test i lighed med den, der er udført på NLES3 (Larsen og Kristensen, 2007), ville have vist,
- at data der er væsentlige for NLES3-marginaludvaskningen er udeladt fra udviklingen af NLES4.

Begge disse muligheder ville være problematiske udgangspunkter i forhold til at hævde, at NLES4-marginaludvaskningen skulle være mest retvisende.

NLES3 forklarer 53 % (r^2 = 0,53) af variationen i N-udvaskningen (Larsen og Kristensen, 2007) og NLES4 forklarer også 53 % af variationen i N-udvaskningen (Kristensen et al., 2008). Det vil sige, at 47 % af variationen er uforklaret. Dette er en høj uforklaret andel, men der er tale om støjfyldte data.
De 53 % er ikke retvisende for den forklarede andel af variationen. Den reelle forklarede andel er lavere, måske endda betydeligt lavere. Der er to hovedårsager til dette: Dels er procentdelen fastlagt udelukkende på data, der også indgår i modelopbygningen, og dels er der en betydelig korrelation mellem den beregnede udvaskning og den modellerede udvaskning, der ikke skyldes en egentlig prædiktion. En del af korrelationen fremkommer ved, at den samme værdi af vandgennemstrømningen, "perkolationen", indgår i både beregningen af "forudsigelsen" - den modelberegnede udvaskning og i "facitlisten" – den udvaskning der beregnes ud fra måleresultaterne.

En simpel test kan bidrage til et mere nuanceret billede af modellens forklaringsgrad. Testen består i at udregne r^2 på baggrund af variationen i *N-koncentrationen* i det vand, der forlader rodzonen. Hvis man kombinerer denne test med en krydsvalidering, får man et billede af, hvilken forklaringsgrad modellen har, ud over den pseudo-forklaringsgrad, der alene fremkommer via ovennævnte korrelation. Den "reelle forklaringsgrad" er vanskelig at definere entydigt. For at give et mere nuanceret billede, bør de to typer af forklaringsgrad sammenholdes.
Hvis den variant af forklaringsgraden, der stammer fra den her foreslåede test, er meget lav, vil det indikere, at modellen reelt ikke afspejler den type af variation i kvælstofudvaskningen, som især er interessant ud fra et forvaltningsperspektiv. I givet fald vil det primært være overordnede faktorer som årstal, afgrøder, jordtype og perkolation, der bidrager til modellens forklaringsgrad.
Om dette er tilfældet for NLES3 og/eller NLES4 er uafklaret.

Litteratur

Anonym, 2017. VEJLEDNING OM GØDSKNINGS- OG HARMONIREGLER. Planperioden 1. august 2017 til 31. juli 2018. Miljø- og fødevareministeriet.

Borum, J., Sand-Jensen, K., Bruun, H.H. 2016. FØDEVARE- OG LANDBRUGSPAKKEN – et risikabelt kvælstofeksperiment? Aktuel Naturvidenskab, 3.
http://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/Aktuel_Naturvidenskab/nr-3/AN3-2016landbrugs-pakke.pdf

Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, Schelde, K. (Editors). 2013. Udviklingen i kvælstof-udvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 031. Aarhus Universitet

Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Eriksen, J. 2017. Vedrørende marginaludvaskning fra hovedoplande og kystvandoplande: Uddybning af "Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret". Notat til NaturErhvervstyrelsen den 25. januar 2017.
http://pure.au.dk/portal/files/108508230/Marginaludvaskningsnotits_19_01_2017.pdf

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. Notat til NaturErhvervstyrelsen den 11. november 2015.
http://pure.au.dk/portal/files/95991713/Notat_om_tilbagerulning_af_tre_generelle_krav_Normreduktion_Obligatoriske_efterafgr_der_og_Forbud_mod_jordbearbejdning_i_efter_ret_111115.pdf

Delin, S., Stenberg, M. 2014. Effect of nitrogen fertilization on nitrate leaching in relation to grain yield response on loamy sand in Sweden. European Journal of Agronomy 52, 291-296.

Engström, L., Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B. 2010. Reducing nitrate leaching after winter oilseed rape and peas in mild and cold winters. Agronomy for Sustainable Development 31, 337–347.

Goulding, K.W.T., Poulton, P.R., Webster, C.P., Howe, M.T. 2000. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather. Soil Use and Management 16, 244-250.

Høgh-Jensen, H., Loges, R., Jørgensen, F. V., Vinther, F.P., Jensen, E. S. 2004. An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. Agricultural Systems, 82, 181-194.

Kristensen, K., Waagepetersen, J., Børgesen, C.D., Vinther, F.P., Grant, R., Blicher-Mathiesen,

G. 2008. Reestimation and further development in the model N-LES - N-LES3 to N-LES4. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet og Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. DJF rapport 139.
http://pure.au.dk/portal/files/2423945/DJF_rapport_Markbrug_139

Larsen, S., Kristensen, K. 2007. Udvaskningsmodellen N-LES3 – usikkerhed og validering.
DJF rapport, Markbrug. 132.

Ledgard S.F., Penno J.W., Sprosen M.S. 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 132, 215–225.

Lord, E.I., Mitchell, R.D.J. 1998. Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. Soil Use and Management, 14, 78–83.

Manevski, K., Børgesen, C.D., Andersen, M.N., Kristensen, I.S. 2015. Reduced nitrogen leaching by intercropping maize red fescue on sandy soils in Northern Europe: a combined field and modeling study. Plant and Soil 388, 67-85.

Olesen, J.E. 2013. Hvordan kan udvaskningen og belastningen af vandmiljøet yderligere reduceres? Agrologisk 8, 6-8.
http://orgprints.org/25720/7/25720.pdf

Olesen, J.E. 2014. Kvælstofforsyning på økologiske planteavlsbedrifter. Sammendrag fra Planteavlskongressen 2014, 288-290.
http://orgprints.org/25719/7/25719.pdf

Pandey, A., Li, F., Askegaard, M., Olesen, J.E. 2017. Biological nitrogen fixation in three long-term organic and conventional arable crop rotation experiments in Denmark. European Journal of Agronomy 90, 87-95.

Pandey, A., Li, F., Askegaard, M., Rasmussen, I.A., Olesen, J.E. 2015. Nitrogen balances in organic and conventional arable crop rotations and their relations to nitrogen yield and leaching losses. Agriculture, Ecosystems and Environment. Publiceringsstatus ukendt.

Petersen, J., Djurhuus, J. 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødede, kornrige sædskifter. DJF rapport, Markbrug 102.

Ryden J.C. 1984. The flow of nitrogen in grassland. Proceedings of the Fertiliser Society, London, 229, 1–44.

Shah, A., Askegaard, M., Rasmussen, I.A., Jimenez, E.M.C., Olesen, J.E. 2017. Productivity of organic and conventional arable cropping systems in long-term experiments in Denmark. European Journal of Agronomy 90, 12-22.

Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H., Taube, F. 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. Grass and Forage Science, 59, 56-68.

Ørum, J. E., Kjærgaard, C., Thomsen, I. K. 2017. Landbruget og vandområdeplanerne: omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport; Nr. 258.

Danmarks
Naturfredningsforening

ANALYSE AF FORUDSÆTNINGER FOR
LANDBRUGSPAKKEN