

11. november 2015

## **Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret**

*Christen Duus Børgesen<sup>1)</sup>, Ingrid K. Thomsen<sup>1)</sup>, Elly M. Hansen<sup>1)</sup>, Inge T. Kristensen<sup>1)</sup>, Gitte Blicher-Mathiesen<sup>2)</sup>, Jonas Rolighed<sup>2)</sup>, Poul Nordemann Jensen<sup>3)</sup>, Jørgen E. Olesen<sup>1)</sup> og Jørgen Eriksen<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup> Institut for Agroøkologi, <sup>2)</sup> Institut for Bioscience, <sup>3)</sup> DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

---

NaturErhvervstyrelsen har i forbindelse med de økonomiske konsekvensberegninger af den ny målrettede regulering behov for en beregning af, hvilken effekt tilbagerulning af de generelle krav vil have i forhold udvaskningen af næringsstoffer.

NAER bad på den baggrund den 26. maj 2015 DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug (DCA) om en effektberegning på kvælstofudvaskning ved tilbagerulning af de tre generelle virkemidler: Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret.

Efterfølgende har NAER fremsendt yderligere to bestillinger til DCA vedr. effektberegningerne. De supplerende bestillinger er modtaget hhv. den 9. september 2015 (om den ændrede vurdering af marginaludvaskning medfører behov for ændringer af Virkemiddelkataloget fra december 2014) og den 11. september 2015 (udbygning af baggrunden for NLES3 vs. NLES4).

Nærværende notat er udarbejdet i et samarbejde mellem DCA og DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi og udgør en samlet besvarelse af de tre nævnte bestillinger.

Bestillingen af 9. september 2015 er besvaret i form af notatets Bilag 1: "Behov for opdatering af Virkemiddelkataloget fra december 2014 hvor ændret NLES (marginaludvaskning) slår igennem", mens besvarelse på bestillingen af 11. september 2015 er integreret i notatets Afsnit 3 og 4 samt i Bilag 2.

## Indholdsfortegnelse

Sammenfatning .....	3
1. Introduktion .....	5
2. Tilbagerulning af normreduktion.....	6
2.1 Oversigt over økonomisk optimal gødsning og normreduktion .....	6
2.2 Tilbagerulning af reducerede kvælstofnormer ved anvendelse af NLES4 i to modelopsætninger .....	7
2.2.1 Redegørelse for forskelle mellem de to NLES4-modelopsætninger.....	9
2.2.2 Anbefaling vedr. modelopsætning af NLES4.....	10
2.3 Sammenligning af NLES3 og NLES4.....	11
2.3.1 Udvikling af NLES .....	11
2.3.2 Marginaludvaskning i NLES3 og NLES4.....	11
2.3.3 Estimering af typetal for marginaludvaskning.....	12
2.3.4 Ændring af typetallet for marginaludvaskning.....	14
2.3.5 Forventninger til NLES5 .....	14
2.4 Marginaludvaskning i Landovervågningen (LOOP) estimeret ved de empiriske modeller NLES3 og NLES4 .....	15
2.5 Perspektivering af størrelse på marginaludvaskningen.....	18
3. Tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder .....	19
4. Tilbagerulning af forbud mod jordbearbejdning i efteråret .....	21
5. Referencer .....	28
Bilag 1. Behov for opdatering af Virkemiddelkataloget fra december 2014 hvor ændret NLES (marginaludvaskning) slår igennem .....	31
Bilag 2. Uddybning af Afsnit 2.4 om marginaludvaskning i Landovervågningen (LOOP) estimeret ved de empiriske modeller NLES3 og NLES4.....	37

## Sammenfatning

Der er gennemført beregninger af de udvaskningsmæssige konsekvenser af tilbagerulning af normreduktion, obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret. Effekten af tilbagerulningerne er beregnet på baggrund af landbrugsdata for høståret 2011. Effekt af tilbagerulning af normreduktionen er beregnet med NLES4, mens effekten af tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret er gennemført med typetal.

Beregning af effekt af tilbagerulning af normreduktion er gennemført ved anvendelse af to opsætninger af NLES4. Den ene modelopsætning svarede til opsætningen anvendt i Grøn Vækst (GV), mens en alternativ opsætning var ændret mht. arealanvendelsesdata, efterafgrødeeffekt i majs, klimadata og organogene jorde. Modelberegningerne med GV-opsætningen af NLES4 resulterede i en kvælstofudvaskning på landsplan på hhv. 165.000 t N mens udvaskningen med den alternative opsætning blev beregnet til 157.000 t N. Det anbefales, at den landsberegneede udvaskning på 165.000 t N baseret på GV-opsætningen af NLES4 fastholdes i fremtidige beregninger, da dette estimat anses for det mest robuste.

Tilbagerulning af virkemidlerne normreduktion, obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret er beregnet til potentielt at have følgende effekt på landsplan:

Tilbagerulning af virkemiddel	Metode	Kommentarer	Forøget udvaskning fra rodzonen (1.000 t)	Forøget udledning til havmiljøet (1.000 t)
Normreduktion	NLES4 (GV-opsætning)	Beregnet ud fra afgrødesammensætning samt tilhørende normreduktion for konventionelt areal i 2011 ved fortsat anvendelse af obligatoriske efterafgrøder (med dertil hørende eftervirkning) samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret.	12,6	3,6
Obligatoriske efterafgrøder	Typetal	Ved beregning ud fra typetal er der inkluderet effekt af eftervirkning. Det er forudsat i beregningerne, at al dyrkning af obligatoriske efterafgrøder ophører og tilbagerulles til ubearbejdet, hovedsageligt ikke-bevokset jord.	7,9	2,2
Forbud mod jordbearbejdning i efteråret	Typetal	Det er forudsat i beregningerne, at fraktionen af arealer, der vil blive jordbearbejdet før den nuværende tidsfrist, vil svare til fraktionen i 2008-11 som anført i Børgesen et al. (2013).	1,2	0,3

Det skal pointeres, at der for den estimerede forøgede udvaskning ved tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder er tale om et øvre estimat, dvs. hvor al dyrkning af obligatoriske efterafgrøder ophører. I notatet diskuteres, hvilke faktorer, der spiller ind i forhold til, om dette estimat kan forventes opnået. Usikkerheden er primært afhængig af, hvordan landmanden vil tilpasse sin markdrift til de nye rammebetingelser mht. prisforhold og lovgivning (eksempelvis kravet om MFO arealer), hvilket vi ikke har grundlag for at give konkrete skøn for.

I forbindelse med beregningen af effekt af tilbagerulning af normreduktionen blev den samlede marginaludvaskning på landsplan beregnet til ca. 1/5. Marginaludvaskningen i de 91 deloplande baseret på GV-opsætningen varierede mellem 11 og 28 % og opgjort på de 23 hovedoplande mellem 12 og 22 %. Det

skal understreges, at opgørelsen af udvaskningen på hovedoplande og kystdeloplande ikke tidligere er foretaget, og at værdierne for disse er behæftet med betydelig større usikkerhed end på landsplan. Opdelte på afgrøder for hele landet lå variationsbredden i marginaludvaskningen på mellem 1 % (vedvarende græs og frøgræs) og 38 % for majs.

Marginaludvaskningen, dvs. den andel af kvælstof, der udvaskes ved tilførsel af en given mængde ekstra kvælstof, blev i forbindelse med NLES4-beregningerne bestemt til en lavere værdi end tidligere antaget. I nærværende notat redegøres for, at NLES4 generelt estimerer en lavere marginaludvaskning end den tidligere anvendte NLES3, og at de landsdækkende beregninger, der i en årrække er gennemført med NLES4, er baseret på denne lavere marginaludvaskning. Størrelsesordenen på marginaludvaskningen er sammenlignet med målinger i danske og internationale studier.

Der er gennemført analyser af, hvordan NLES3 og NLES4 simulerer den målte kvælstofudvaskning og den målte afstrømningsvægtede kvælstofkoncentration på basis af Landovervågningen (LOOP). NLES4 giver generelt en lavere marginaludvaskning end NLES3, men begge modeller er i stand til at eftervise den årlige udvikling i den målte udvaskning for den periode, de er sat op på, på nær 1991 og 1992, hvor den målte udvaskning var meget høj.

I Bilag 1 beskrives, hvorvidt effekterne fastsat i Virkemiddelkataloget fra 2014 påvirkes af en lavere marginaludvaskning end tidligere antaget. Det fremgår af bilaget, at effekterne i Virkemiddelkataloget generelt fortsat kan anses for gældende, da de hovedsageligt er baseret på målte værdier fra markforsøg eller på differencer til et NLES4-estimat. I Bilag 2 er marginaludvaskningen, belyst ud fra målinger i LOOP, uddybet.

## 1. Introduktion

Med henblik på at estimere de udvaskningsmæssige konsekvenser af tilbagerulning af normreduktion, obligatoriske efterafgrøder samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret er der gennemført beregninger på baggrund af landbrugsdata for høståret 2011. Beregningerne er gennemført for landet som helhed samt på hovedoplands- og kystdeloplandsniveau.

Den empiriske udvaskningsmodel NLES4 (Kristensen et al., 2008) er anvendt til estimering af konsekvenserne af tilbagerulning af normreduktionen. Modellen er under opdatering<sup>1</sup>, og i den forbindelse vil effekterne af en række dyrkningsparametre, herunder efterafgrøder samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret (nugældende virkemiddel ”Forbud mod jordbearbejdning forud for forårssåede afgrøder”, Anonym, 2015a) blive søgt inddraget. Da dette arbejde pågår, er beregningerne af tilbagerulning af hhv. obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret gennemført med typetal baseret på Virkemiddelkataloget (Hansen og Thomsen, 2014; Hansen et al., 2014). I modsætning til NLES4-beregningerne inddrager typetallene ikke effekt af afstrømning, som varierer mellem oplande især pga. forskelle i nedbørforhold.

I nærværende besvarelse præsenteres effekten af tilbagerulning alene på landsplan. Beregningerne af effekten af tilbagerulning i de enkelte kystdeloplande fremgår af et tilhørende Excel-regneark. Det skal understreges, at opgørelsen af udvaskningen på hovedoplande og kystdeloplande ikke tidligere er foretaget, og at værdierne for disse er behæftet med betydelig større usikkerhed end på landsplan. Det skyldes bl.a., at nogle af deloplandene er meget små, og at beregningerne alene er gennemført for et enkelt høstår. Herved får afgrødesammensætningen i dette år en stor betydning – især for små deloplande.

Generelt er det vanskeligt at adskille effekt af gødningsrelaterede virkemidler, fordi gødskningsadfærd og effekt på udvaskning er koblet. Effekt af normreduktionen vil afhænge af de virkemidler, der allerede er implementeret i det år, beregningen gennemføres. Rulles virkemidler tilbage, som f.eks. obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning, vil effekten af tilbagerulning af normreduktionen kunne være højere end ovenfor bestemt. Effekt af tilbagerulning af virkemidler kan opgøres enkeltvis, som i dette notat, men effekterne kan vekselvirke og kan derfor ikke umiddelbart adderes. En mere detaljeret beregning af effekt ved tilbagerulning af flere virkemidler samtidigt, har ikke været mulig inden for besvarelsens tidsramme.

---

<sup>1</sup>Marginaludvaskning undersøges og fastlægges mere præcist i forbindelse med igangværende opgave om opdatering af NLES modellen. Opgaven er led i Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevarerministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug 2015-2018 (Punkt FM-14 i Aftalens Bilag 2). Der er desuden i GUDP-projektet VIRKN (2014-18) igangsat markforsøg med udvaskningsmålinger ved tilførsel af stigende mængder kvælstof, hvilket vil kunne danne grundlag for et mere præcist estimat for udvaskningen.

## 2. Tilbagerulning af normreduktion

Beregningerne af effekt af tilbagerulning af normreduktion, gennemført med NLES4 på baggrund af normreduktionen i 2011, har resulteret i en lavere marginaludvaskning end tidligere antaget. I nærværende notat er det derfor valgt at gennemgå de faktorer, der har og har haft betydning i forbindelse med beregninger af udvaskning i de senere år.

### 2.1 Oversigt over økonomisk optimal gødskning og normreduktion

Den økonomiske optimale kvælstofnorm varierer i forhold til aktuelle priser på korn, gødning og protein. Den kvælstofmængde, der skal tilbagerulles, er derfor ikke en fast kvælstofmængde, men varierer fra år til år. Af samme grund kan det derfor være relevant at se på udviklingen i kvælstofkvoter og normreduktioner gennem årene.

Der har været gennemført normreduktionsberegninger siden 1998, hvor VMPII-aftalen fastsatte landekvoten til 10 % under niveauet i 1997/1998 med virkning fra planperioden 1998/1999 (Grant og Waagepetersen, 2003). Fra 2001 skete der en stramning af kvælstofforbruget på baggrund af VMPII midtvejsevalueringen (Grant et al., 2000). Fra 2005 blev en ny beregningsmodel anvendt som følge af VMPIII, således at gødningsforbruget ikke kunne overstige landekvoten fra 2003/2004 reguleret for effekten af afgrødeforskydninger ("kvælstofposen"). Den samlede kvote for 2003/2004 udgjorde ca. 363.000 t N (Tabel 1).

Siden 2005/2006 er der hvert år beregnet økonomisk optimale kvælstofnormer ved det udbyttensniveau, der ville være, hvis der ikke var restriktioner i anvendelse af kvælstofgødning. De økonomisk optimale kvælstofnormer fastsættes ud fra bl.a. dyrkningsforsøg og prisrelationer mellem afgrøder og kvælstof. Normreduktionen er siden beregnet ud fra de økonomisk optimale kvælstofnormer, og indførelsen af dette princip betød, at normreduktionen steg fra 9,4 % i 2004/2005 til 14,3 % i 2005/2006. I Tabel 1 er den samlede kvælstofkvote vist for hvert år siden 1998/1999 inklusiv normreduktion angivet som total mængde og i procent. Som det fremgår af Tabel 1, varierer den beregnede normreduktion mellem årene, og den totale effekt af en tilbagerulning vil derfor afhænge af, hvilket år der anvendes som udgangspunkt.

*Tabel 1. Oversigt over samlet økonomisk optimal kvælstofkvote i Danmark og den samlede mængde kvælstof, der kan tilføres ("kvælstofposen"). Ligeledes vist er normreduktion i forhold til økonomisk optimale kvælstofnormer i totale mængder og i procent. Under kommentarer er nævnt nogle af de faktorer, der har haft indflydelse på kvælstofposens størrelse. Data er hentet og beregnet ud fra Anonym (2011) samt fra NAER (2015).*

Periode	Kommentarer	Økonomisk optimal kvælstofkvote (1.000 t N)	Samlet kvælstofkvote ("kvælstofposen") (1.000 t N)	Beregnet normreduktion (1.000 t N)	Beregnet normreduktion (%)
1998/1999	10 % reduktion i forhold til 1997/1998-niveau, jf. VMP II.	390 <sup>a</sup>			12,5
1999/2000		408 <sup>a</sup>			11,2
2000/2001		412 <sup>a</sup>			12,4
2001/2002		420 <sup>a</sup>			9,5
2002/2003		390 <sup>a</sup>			9,3
2003/2004		396 <sup>a</sup>			9,3
2004/2005		394 <sup>a</sup>			9,4

2005/2006	Indstilling af økonomisk optimale normer inddrages.	424	363	61	14,3
2006/2007		424	363	61	14,4
2007/2008		427	363	64	15,0
2008/2009	Fra denne planperiode anvendes arealdata for 2007 mod tidligere 2004.	442	379	64	14,5
2009/2010	Arealdata for 2008 anvendes.	451	382	69	15,5
2010/2011	Inkl. teknisk ændring og ændring vedr. brakarealer.	458	384	74	16,0
2011/2012	Inkl. teknisk ændring.	443	377	66	15,0
2012/2013	Visse justeringer af beregningen af kvælstofposen.	446	384	62	13,8
2013/2014	Tilretning af den tekniske ændring så den omfatter akkumuleret arealberegning.	439	369	70	15,9
2014/2015	Inkl. teknisk ændring.	442	362	80	18,1

<sup>a</sup>Leif Knudsen, SEGES, pers. komm.

## 2.2 Tilbagerulning af reducerede kvælstofnormer ved anvendelse af NLES4 i to modelopsætninger

Der er i de landsdækkende NLES4-beregninger anvendt landbrugsdata for høståret 2011. Det har ikke været muligt at opstille nye datasæt for de seneste år inden for tidsrammen af besvarelsen. Datasættet for 2011 er derfor anvendt, da det er det nyeste datasæt, som var klar til brug i modelberegningerne. Der er antaget samme arealanvendelse og forbrug af husdyrgødning som anvendt i Grøn Vækst (GV)-evalueringen (Børgesen et al., 2013).

Effekten af tilbagerulning af normreduktion er gennemført med to modelopsætninger af NLES4. Den ene opsætning (GV-opsætning) svarer til, hvad der blev anvendt i GV, hvor der blev anvendt klimadata fra 1990-2009/10. Desuden er en alternativ opsætning (AI-opsætning) af NLES4 testet. I AI-opsætningen blev beregningerne gennemført med en anden klimaserie, og der indgik desuden ændrede antagelser i forhold til GV-opsætningen (se Afsnit 2.2.1).

Normreduktionen var i 2010/11 på i alt ca. 74.000 t N for både konventionelt og økologisk areal (Tabel 1). Ca. 6 % af normen var relateret til økologiske arealer, hvorfor kvoten, der er beregnet tilbagerullet, svarer til ca. 69.500 t N. Normreduktionen er tilbagerullet under antagelse af, at hele denne kvote vil blive udnyttet. Den øgede kvælstofgødskning er anvendt på ikke-økologiske arealer, hvor den dyrkede afgrøde har en gødningsnorm større end 0 kg N/ha. For at kunne angive en værdi for havbelastningen er der på id15 oplandsniveau anvendt lokale total-N retentionsprocenter (Redtot), der er den summerede N-retention mellem rodzone og havet (Højberg et al., 2015).

Den totale udvaskning fra rodzonen i 2011 blev ved anvendelse af NLES4 i GV-opsætningen beregnet til ca. 165.000 t N før en tilbagerulning og til 178.000 t N efter en tilbagerulning af 69.500 t N svarende til en øget udvaskning på ca. 12.600 t N (Tabel 2). Effekten af tilbagerulning på den samlede havbelastning udgjorde ca. 3.600 t N baseret på GV-opsætningen (Tabel 2).

Ved anvendelse af AI-opsætningen blev den totale udvaskning beregnet til 157.000 t N før tilbagerulning og 169.000 t N efter en tilbagerulning svarende til en stigning på 11.800 t N fra rodzonen (Tabel 2). Ved anvendelse af AI-opsætningen blev den øgede udvaskning beregnet til ca. 3.400 t N til havmiljøet (Tabel 2).

*Tabel 2. Beregnet kvælstofudvaskning på landsplan før tilbagerulning samt forøget udvaskning fra rodzonen og til havmiljøet efter tilbagerulning af normreduktion på 69.500 t N. Beregningerne er gennemført med NLES4 i hhv. GV-opsætning som i Børgesen et al. (2013) og i AI-opsætning (se Afsnit 2.2.1). Ved begge modelopsætninger er anvendt afgrødesammensætning samt tilhørende normreduktion i 2011 ved fortsat anvendelse af obligatoriske efterafgrøder (med dertil hørende eftervirkning) samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret.*

Metode	Udvaskning på landsplan før tilbagerulning (1.000 t N)	Udvaskning på landsplan efter tilbagerulning (1.000 t N)	Forøget udvaskning fra rodzonen (1.000 t N)	Forøget udvaskning fra rodzonen (kg N/ha)	Forøget udledning til havmiljøet (1.000 t N) <sup>a</sup>	Forøget udledning til havmiljøet (kg N/ha) <sup>a</sup>
GV-opsætning af NLES4 (Børgesen et al., 2013).	165	178	12,6	4,7	3,6	1,4
AI-opsætning af NLES4	157	169	11,8	4,4	3,4	1,2

<sup>a</sup>Beregnet efter Højberg et al. (2015).

Marginaludvaskningen beregnet som det samlede vægtede gennemsnit af at hæve kvælstofgødsningen med ca. 69.500 t N til alle ikke-økologiske marker med samme relative faktor, kan ud fra Tabel 2 beregnes til at svare til ca. 1/5 uanset modelopsætning. Resultatet dækker over dels kornafgrøder med højere marginaludvaskning end gennemsnittet dels græsmarker med mindre marginaludvaskning end gennemsnittet. Desuden har jordtype og specielt afstrømning betydning, da lerjord med lav afstrømning giver en lille marginaludvaskning, hvorimod sandjord i områder med høj afstrømning giver en stor marginaludvaskning (Kristensen et al., 2008). Desuden er der mange marker, hvor der ikke ændres på kvælstofgødsningen (økologiske marker og marker uden gødningsnorm). For disse marker vil udvaskningen være ens med og uden tilbagerulning af normreduktion og vil derfor ikke bidrage til forskelle i udvaskningen eller kvælstof tilført med handelsgødning. Som konsekvens af disse forskelle i marginaludvaskningen betinget af jordtype, afgrøder og afstrømningsforhold vil der også være forskel i marginaludvaskningen mellem forskellige landsdele/vandoplande.

Opgøres marginaludvaskningen med GV-opsætningen på lavere geografisk skala, såsom de 91 deloplande, er variationen, udtrykt ved standardafvigelsen, på 3,3 % med minimum og maximum på henholdsvis 11 og 28 %. Opgøres marginaludvaskningen på de 23 hovedoplande (større geografisk skala) er standardafvigelsen på 2,8 %, og minimum og maximum er henholdsvis 12 og 22 %. Opdelt på afgrøder for hele landet fås en variationsbredde i marginaludvaskningen på mellem 1 % (vedvarende græs og frøgræs) op til 38 % for majs. Således varierer marginaludvaskningen som forventet både geografisk og mellem afgrøder, da der er vekselvirkninger mellem jordtype, klima (afstrømning), afgrøder og husdyrgødningsmængder. Som tidligere nævnt er opgørelsen af udvaskningen på hovedoplande og



kystdeloplande ikke tidligere foretaget, og værdierne for disse er behæftet med betydelig større usikkerhed end på landsplan.

Marginaludvaskningen på ca. 1/5 er beregnet ved et lavere gødningsniveau end 100 % økonomisk optimal kvælstofnorm. Da hældningen på udvaskningskurven stiger ved stigende gødningsniveau (Kristensen et al., 2008), vil marginaludvaskningen på ca. 1/5 ikke være fuldt sammenlignelig med, hvad marginaludvaskningen er ved økonomisk optimal N gødskning. Ved to modelberegninger med anvendelse af GV-opsætningen af NLES4 med henholdsvis +/-4.000 t N ekstra tilført med handelsgødning i forhold til økonomisk optimalt niveau, blev det fundet, at marginaludvaskningen omkring optimal gødningsnorm i 2011 steg ca. 1 procentpoint.

Hvis tilbagerulningen af normreduktionen medførte en anden fordeling af kvælstofgødningen end antagelsen om en proportional stigning i forhold til normen, ville marginaludvaskningen også ændres. Desuden er alle marker ikke gødet ved 100 % af bedriftens tilladelige kvælstofkvote. Årsagen hertil er, at der i udgangspunktet for 2011-modelberegningerne er anvendt data for alle landbrug med indsendte gødningsplaner i Danmark. Her forekommer bl.a. fritidslandbrug og andre landbrug, der ikke udnytter deres fulde kvælstofkvote. For disse brug er kvælstofgødkningen øget med samme relative faktor som landbrug, der gøder ved fuld kvote.

Effekten på udvaskningen af tilbagerulning af normreduktionen kan være undervurderet, da der ved en reduceret kvælstofnorm kan forventes en mere optimal udnyttelse af både handels- og husdyrgødning. Underoptimale gødningsnormer vil motivere landmanden til at få størst mulig effekt ved f.eks. at fordele specielt husdyrgødningen mere jævnt på alle marker eller på marker med den størst opnåelige virkningsgrad. I en situation med øgede kvælstofnormer vil der være en mindre motivation til optimering af kvælstofvirkningen af husdyrgødningen. Modsat kan der argumenteres for, at der fortsat er de samme udnyttelseskrav til kvælstof i husdyrgødning. Da vi ikke har fagligt grundlag for at inkludere en omfordeling, har vi i modelberegningerne ikke ændret på fordelingen af husdyrgødningen i modelberegningerne.

Marginaludvaskningen på ca. 1/5 er forskellig fra tidligere estimater for marginaludvaskning på 25-35 %, som er beregnet for kornrige, handelsgødede sædskifter uden plantedække om vinteren (Petersen og Djurhuus, 2004). Det skal bemærkes, at 1/5 også er væsentlig forskellig fra tidligere antagelser om en marginaludvaskning på 1/3 (se Afsnit 2.3.3) og at de faktorer, der påvirker marginaludvaskningen, undersøges i forbindelse med en igangværende opgave for Miljø- og Fødevarerministeriet samt i igangværende markforsøg (se fodnote 1).

### **2.2.1 Redegørelse for forskelle mellem de to NLES4-modelopsætninger**

Som det fremgår af Tabel 2, er der en forskel på ca. 8.000 t N i kvælstofudvaskningen på landsplan beregnet med NLES4 i hhv. GV- og AI-opsætning. Baggrunden for denne differens er følgende:

- Arealanvendelsesdata for forfrugt og vinterafgrødedække var i AI-opsætningen baseret på samkørsel af aktuelle markkort for 2010 og 2011. I GV-opsætningen (Børgesen et al., 2013) var beregningerne baseret på antagelser om typiske afgrødefølger og sædskiftet på bedriften. Det skyldtes, at arealanvendelsesdata på markniveau alene forelå for de sidste år (2010-2011) af den samlede periode 2007-2011, og at der for at fastholde arealanvendelsens betydning for udvaskningen blev anvendt samme metode i hele GV-evalueringen. Samlet betyder anvendelse af den faktiske afgrødefølge i AI-

opsætningen et fald i den beregnede udvaskning på ca. 6.100 t N i forhold til de typiske afgrødefølger, der blev anvendt i GV-opsætningen.

- I Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014) blev det anført, at efterafgrøder i majs virker på samme niveau som efterafgrøder efter korn. I GV-evalueringen (Børgesen et al., 2013) blev efterafgrøder i majs tillagt en ringere effekt, hvilket hænger sammen med, at der i forbindelse med udviklingen af NLES4 modellen kun var et meget sparsomt datamateriale for udvaskning fra majs. I AI-opsætningen kan denne ændring tilskrives at give en reduktion i udvaskningen på ca. 1.600 t N i forhold til GV-opsætningen.
- For at opnå bedst mulig udnyttelse af tilgængelige klimadata blev der i AI-opsætningen af NLES4 anvendt klimadata fra 1990-2009/10. Årsafstrømningen som gennemsnit er beregnet til at stige med 13 mm/år, hvilket øger udvaskningen med ca. 300 t N i forhold GV-opsætningen.
- I GV-opsætningen blev der for organogene jorde anvendt jordens gennemsnitlige humusindhold, mens disse jorde i AI-opsætningen blev sat til et humusindhold på 4 %. NLES4 er ikke kalibreret på udvaskningsdata fra tørvejorde med højt humusindhold. Antagelsen omkring humusindholdet på 4 % som typetal for humusjorde i AI-opsætningen kan tilskrives mindre end 100 t N.

### 2.2.2 Anbefaling vedr. modelopsætning af NLES4

AU anbefaler at fastholde den landsberegning af udvaskningen, som blev gennemført med GV-opsætningen af NLES4, og som resulterede i en landsudvaskning på 165.000 t N (Børgesen et al., 2013), frem for landudvaskningen på 157.000 t N estimeret med NLES4 i AI-opsætningen (Tabel 2). Beregningen med GV-opsætningen anses for mere robust, da den er baseret på et bredere datagrundlag (modelberegninger for flere dyrkningsår med samme gødsknings- og udvaskningsniveau) sammenlignet med AI-opsætningen, som er baseret på afgrødesammensætning m.m. for et enkelt år (2011). Beregningen med AI-opsætningen, som altså resulterede i en lavere samlet udvaskning, blev i henhold til den oprindelige bestilling fra 26. maj 2015 fra NAER gennemført for at kunne give mere detaljerede beregninger på bedrifts-, jord- og afgrødetyper. Dette skete med henblik på beregning af de økonomiske konsekvenser ved tilbagerulning af de reducerede normer samt som grundlag for en miljø- og bedriftsøkonomisk optimal implementering af virkemidler i deloplandene. Det oprindelige udgangspunkt for beregningerne var således ikke at opdatere de landsberegninger, der er gennemført i GV-evalueringen.

Det skal tilføjes, at der i forbindelse med den 4-årige rapportering i henhold til Nitratdirektivet, skal laves en ny beregning af landsudvaskningen baseret på bl.a. afgrødesammensætningen i årene 2011-14(15). Der vil her blive estimeret en opdateret landsudvaskning ud fra en metode, som er mere sammenlignelig med AI-opsætningen.

Usikkerheder på landsestimatet for kvælstofudvaskning kan principielt deles op på fire kilder: 1) Repræsentativitet af data for udvaskningen, 2) NLES4 modellen, 3) Repræsentativitet af klima og jorddata der indgår i opskaleringen samt 4) Sædskifter og managementdata og hvordan disse implementeres i opskaleringen af NLES4 modelberegningerne. Det er pt. ikke muligt at kvantificere usikkerheden på de forskellige elementer og dermed heller ikke på landsestimatet. Dette kræver, at der gennemføres sensitivitetsanalyser på både NLES4-modellen og på opskalering af NLES4 udvaskningsberegningerne.

## 2.3 Sammenligning af NLES3 og NLES4

### 2.3.1 Udvikling af NLES

NLES er en forkortelse af Nitrate Leaching ESTimator og er betegnelsen for en dansk, empirisk model, der er baseret på statistisk behandling af målte data for udvaskning af nitrat fra landbrugsjord. Grundlaget for NLES blev første gang beskrevet af Simmelsgaard (1991) i forbindelse med Handlingsplan for Bæredygtigt Landbrug. Modellen blev siden genberegnet og udvidet (Simmelsgaard og Djurhuus, 1998; Simmelsgaard, 1998). Efter yderligere udbygning og modificering blev NLES1 i 2000 publiceret af Simmelsgaard et al. (2000). En videreudvikling af NLES1 til NLES2 (Kristensen, 2002) blev hovedsagelig foretaget pga. opdatering af beregning af vandbalancer (Plauborg et al., 2002). Efterfølgende blev NLES2 videreudviklet til NLES3 i forbindelse med Vandmiljøplan II (Kristensen et al., 2003) og i 2008 blev NLES4 introduceret og beskrevet i Kristensen et al. (2008).

De målte data, der indgår i NLES-versionerne, stammer dels fra markforsøg og drænvandsundersøgelser ved det tidligere Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, nu Institut for Agroøkologi, dels fra målinger på private landbrugsbedrifter i Landovervågningsprogrammet (LOOP) under det tidligere Danmarks Miljøundersøgelser, nu Institut for Bioscience. Begge institutter hører i dag under Aarhus Universitet.

I forsøg på at forbedre NLES-versionerne er datagrundlaget i tidens løb suppleret med nye observationer af samme art som beskrevet ovenfor. Der indgår således 598, 596, 1299 og 1467 observationer i henholdsvis NLES1, NLES2, NLES3 og NLES4 (Simmelsgaard et al., 2000; Kristensen, 2002; Kristensen et al., 2003; Kristensen et al., 2008).

### 2.3.2 Marginaludvaskning i NLES3 og NLES4

Ved marginaludvaskningen forstås den andel eller procentdel af kvælstof, der udvaskes ved tilførsel af en given mængde ekstra kvælstof. Det er vigtigt at bemærke, at marginaludvaskningen ikke svarer til det direkte forhold mellem kvælstoftilførsel og udvaskning, da dette forhold ikke inddrager den andel, der udvaskes fra jordpuljen. Marginaludvaskningen er ikke en fast andel af den tilførte gødning, men afhænger af bl.a. kvælstofniveauet for tilførsel af gødning. Desuden vil effekten være afhængig af jordtype, afstrømning, afgrøde, forfrugt og andre kvælstofkilder end gødning. I Kristensen et al. (2008) er der gennemført en sammenligning mellem NLES3 og NLES4. Heraf fremgår, at ved benyttelse af data fra LOOP gav NLES4 mindre udvaskning end NLES3 i årene 1990 til ca. 1997, hvorimod udvaskningen ved anvendelse af disse data var på samme niveau i de følgende år.

På baggrund af oplysninger om NLES3 i Kristensen et al. (2003) og oplysninger om NLES4 i Kristensen et al. (2008) kan marginaludvaskningen beregnes for hver af modellerne i intervallet mellem f.eks. 100 – 200 kg N/ha (Tabel 3). Det fremgår af Tabel 3, at marginaludvaskningen som simpelt gennemsnit for vårkorn på sand og ler er 34 % for NLES3 og 19 % for NLES4. Det skal bemærkes, at 'Bar jord' og 'Vinterkorn' i Tabel 3 vedrører efterårsperioden efter høst af vårkornet. Den nugældende norm til vårbyg på forskellige jordtyper varierer fra 114-133 kg N/ha (Anonym, 2015a), hvilket er i den nedre del af intervallet 100 – 200 kg N/ha. Estimerne i Tabel 3 vil derfor være lidt overestimerede i forhold til nugældende gødningspraksis.

Modelberegninger af marginaludvaskning med NLES3 og NLES4 for et kornrigt sædskifte viser for vinterkorn omtrent samme store forskelle som for vårkorn i Tabel 3. Derimod udviser græs næsten ingen forskelle i marginaludvaskning mellem de to modeller (Peter Sørensen, Institut for Agroøkologi, pers. medd.).

Tabel 3. Gennemsnitlig marginaludvaskning (procent udvaskning for hvert kilo ekstra tilført kvælstof i intervallet 100 – 200 kg N/ha) for vårbyg efterfulgt af henholdsvis bar jord og jord bevokset med vinterkorn i det følgende efterår. Beregningerne er foretaget med hhv. NLES3 og NLES4.

NLES-model	NLES3 <sup>a</sup>		NLES4 <sup>b</sup>	
	Bar jord	Vinterkorn	Bar jord	Vinterkorn
Bevoksning efter vårkorn				
Sand	41	40	32	22
Ler	27	27	15	12
Gennemsnit	34	34	24	17
Samlet gennemsnit (afrundet)	34		19	

<sup>a</sup>Aflæsning på Figur 2 i Kristensen et al. (2003).

<sup>b</sup>Bestemt ud fra Figur 2 og Tabel "Applied N-level, N spring application and predicted N leaching" i Appendix 1, side 23 i Kristensen et al. (2008).

Kristensen et al. (2008) nævner de vigtigste ændringer, som er blevet foretaget i NLES4 i forhold til NLES3. Hvilke ændringer, der har haft størst betydning for marginaludvaskningen er ikke beskrevet, men det vurderes, at ændringer i effekt af afgrøder og forfrugter i NLES4 i forhold til tidligere NLES-modeller har størst betydning for marginaludvaskningen. Af Kristensen et al. (2008) fremgår, at effekter af afgrøder og forfrugter i NLES4 er delt op i effekter af sommerafgrøde og vinterafgrøde, hvor vinterafgrøden kan være en efterafgrøde, flerårigt græs eller det kommende års sommerafgrøde, hvis denne er sået om efteråret (f.eks. vinterhvede). Desuden er grupperingen af afgrøder ændret. En anden ændring i NLES4 i forhold til NLES3 består i, at afstrømningsperioden er blevet underopdelt i tre perioder, dvs. en sommerperiode (april-august), en efterårsperiode (september-december) og en vinterperiode (januar-marts). Dette er sket for at tage højde for, at der er forskellig effekt af afstrømning i de forskellige perioder (Kristensen et al., 2008).

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. I datagrundlaget bag NLES4 er der flere forsøg med varierende kvælstofmængder end i NLES3, hvorfor NLES4 udvaskningen for dette større datasæt beregnes med større sikkerhed end NLES3. Marginaludvaskningen, beregnet med NLES4, er desuden i bedre overensstemmelse med resultater af nationale og internationale studier (se Afsnit 2.5).

### 2.3.3 Estimering af typetal for marginaludvaskning

Der er i nogle sammenhænge anvendt, hvad der kan betragtes som et typetal for marginaludvaskningen, dvs. en fast andel, som udvaskes af hvert kilo kvælstof, der tilføres. Dette typetal har ofte været sat til 1/3, altså 33 %. Typetallet relateres ofte til Petersen og Djurhuus (2004), som estimerede en marginaludvaskning på 25-35 % for vårbyg i kornrige sædskifter, der er gødet omkring normalniveauet. Marginaludvaskningen blev her estimeret for vedvarende ændringer i kvælstoftilførslen på middellangt sigt (5-15 år) på baggrund af udvaskningsdata fra fem lysimeterforsøg og to markforsøg (et forsøg med drænvandsundersøgelser og et forsøg med sugeceller). Der blev i Petersen og Djurhuus (2004) taget udgangspunkt i dels den relative udvaskningsfunktion fra Simmelsgaard og Djurhuus (1998), som var baseret på drænvandsundersøgelser, og dels i typetal for kvælstofudvaskningen fra kornafgrøder ved normalgødskningsniveauet. De anvendte typetal for kvælstofudvaskning ved normal gødskning (ligeledes baseret på Simmelsgaard og Djurhuus, 1998) er i Petersen og Djurhuus (2004) angivet til 68 og 55 kg N/ha/år for ensidig vårbyg på henholdsvis sandjord (JB1-4) og lerjord (JB5-7), og normalgødskningsniveauet

er angivet til 130 kg N/ha for vårbyg. Under de nuværende gødningsnormer er det udelukkende vårbyg på lerjord (JB7-9) og vandet sandjord (JB1-4), der har en gødningsnorm på dette niveau, mens vårbyg på uvandet sandjord (JB1- JB4) og sandblandet lerjord (JB5-6) har gødningsnormer på 114 -120 kg N/ha (Anonym, 2015a). De nuværende normer for disse jordtyper ligger altså 10-16 kg N/ha under det normalgødningsniveau, der indgik i Petersen og Djurhuus (2004), som pointerede, at marginaludvaskningen vil være mindre ved lavere gødskningsniveauer.

Typetal for marginaludvaskning er hovedsageligt anvendt ved beregninger af effekt af en fremtidig normreduktion eller ophævelse af en eksisterende normreduktion. Ligeledes har der været anvendt typetal til estimering af effekter af fremtidige potentielle virkemidler samt til at fordele en modelberegnet udvaskningsreduktion på enkeltkomponenter. For eksempel er der benyttet et estimat på 30 % ved en normreduktion på 10 % i Petersen og Sørensen (2004), og i Schou et al. (2007) er der benyttet 30 % ved beregning af effekt af virkemidler til realisering af EU's Vandrammedirektiv. Endelig er der benyttet 33 % i Anonym (2011) til beregning af effekter af forskellige virkemidler i forbindelse med Grøn Vækst.

I landsdækkende opgørelser er udvaskningen generelt ikke beregnet med typetal men hovedsageligt baseret på modelberegninger f.eks. med NLES eller Daisy (Hansen et al., 2012). Ved anvendelse af disse modeller benyttes modellernes marginaludvaskning, som varierer i forhold til bl.a. klimaforhold, afgrøde og jordtype. I Tabel 4 er vist en række publikationer med angivelse af, hvilke modeller eller typetal, der er anvendt. I Blicher-Mathiesen et al. (2003) blev f.eks. benyttet en gennemsnitlig marginaludvaskning på 33 % til evaluering af forskellige virkemidler i VMP II. Valget af 33 % blev begrundet i en samlet vurdering af estimater og beregninger i Iversen et al. (1998), Petersen og Djurhuus (2004) samt beregninger med NLES og SKEP-DAISY samt Daisy modelberegninger med data fra LOOP. Iversen et al. (1998) beregnede i forbindelse med en vurdering af VMP II en marginaludvaskning på ca. 25 % på baggrund af beregninger med forløberen til NLES (Simmelsgaard, 1991).

*Tabel 4. Publikationer hvori der er foretaget prædiktioner af effekt af reduktioner i kvælstofgødning på nitratudvaskningen fra rodzonen. Listen skal ikke betragtes som fuldstændig.*

Publikation (reference)	
Vandmiljøplan II. Faglig vurdering (Iversen et al., 1998).	Ved benyttelse af en 'forløber' for NLES (Simmelsgaard, 1991) er marginaludvaskningen estimeret til ca. 25 % til brug for beregning af reduktion i kvælstofudvaskning som følge af nedsatte gødningsnormer.
Vandmiljøplan II. Midtvejsevaluering (Grant et al., 2000).	Den empiriske model NLES1 (Model B, Simmelsgaard et al., 2000) er anvendt til prædiktion af effekt af nedsat handelsgødningsforbrug på landsplan. Marginaludvaskningen estimeres af modellen til 25 %.
Vandmiljøplan II – slutevaluering (Grant og Waagepetersen, 2003)	Modelberegninger af kvælstofudvaskning på landsplan fra midt 1980'erne til 2002 ved anvendelse af SKEP/DAISY, NLES3 og NLES3 baseret på LOOP. Reduktion i udvaskning af kvælstof ved nedsat handelsgødningsforbrug fra 1998 til 2002 er fordelt ved benyttelse af 33 % marginaludvaskning.
Vandmiljøplan II – slutevaluering af de enkelte virkemidler (Blicher-Mathiesen et al., 2003)	Til vurdering af gødningsrelaterede tiltag er anvendt en marginaludvaskning på 33 %.
Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion af kvælstoftab (Petersen og Sørensen, 2004)	Beregning af effekt ved reduktion af kvælstofnorm. Der benyttes 30 % for de første 10 % reduktion i kvælstofnormen i forhold til VMP II's 90 %-norm og 27 % for yderligere 10% reduktion.

Virkemidler til realisering af målene i EU's Vandramme-direktiv. (Schou et al., 2007).	Beregning af effekt ved reduktion af kvælstofnormen. Der benyttes en marginaludvaskning på 30 % for de første 10 % reduktion i normen i forhold til VMP II's 90 %-norm og 27 % for yderligere 10 % reduktion.
Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III. (Waagepetersen et al., 2008)	Beregning af udvaskningen for hvert af årene 2003-07 med SKEP/DAISY og NLES4.
Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III. Hoved- og baggrundsnotater (Børgesen et al., 2009).	Samme som i Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III (Waagepetersen et al., 2008). Flere afsnit med forskellige forfattere, der alle antager 33 % som marginaludvaskning.
Baseline. Notat nr. 2 vedrørende effekter af forskellige tiltag i forbindelse med Grøn Vækst (Anonym, 2011)	Den øgede udvaskning ved gødskning på økonomisk optimalt niveau er beregnet ud fra en marginaludvaskning på 33 %.
Virkemidler til N-reduktion – potentialer og effekter (Andersen et al., 2012)	Der benyttes en marginaludvaskning på 22 % og 32 % for henholdsvis ler og sand for reduceret gødningsnorm udover 10 % til 20 %.
Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011 (Børgesen et al., 2013)	Modelberegninger foretaget på landsplan med SKEP/DAISY og NLES4. NLES4 er ligeledes anvendt på data fra Landovervågningen (LOOP).

### 2.3.4 Ændring af typetallet for marginaludvaskning

Da typetal for marginaludvaskning er et resultat af afgrødefordeling, gødningsniveau, tidspunkt for gødskning mm., som ændres over tid (bl.a. pga. lovgivning), må typetallet for marginaludvaskningen nødvendigvis også ændre sig over tid. En vurdering af marginaludvaskning er en del af en igangværende opgave om opdatering af NLES4 under Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevarerministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug 2015-2018 (Punkt FM-14 i Aftalens Bilag 2). I opdateringen indgår bl.a. et litteraturstudium til vurdering af marginaludvaskningens størrelse under forskellige betingelser i både danske og udenlandske forsøg.

Ud over opdatering af NLES4 er der igangsat et GUDP-projekt VIRKN (2014-2018), hvor marginaludvaskningen i kornrige sædskifter skal bestemmes i markforsøg på to lokaliteter med forskellig bevoksning om efteråret. Derudover er der netop indsendt en GUDP-ansøgning (Græsn), som indeholder forsøg til bestemmelse af marginaludvaskning i grovfodersædskifter med kløvergræs. Denne ansøgning er indsendt blandt andet i erkendelse af, at der også er behov for opdateret viden om marginaludvaskning i grovfodersædskifter.

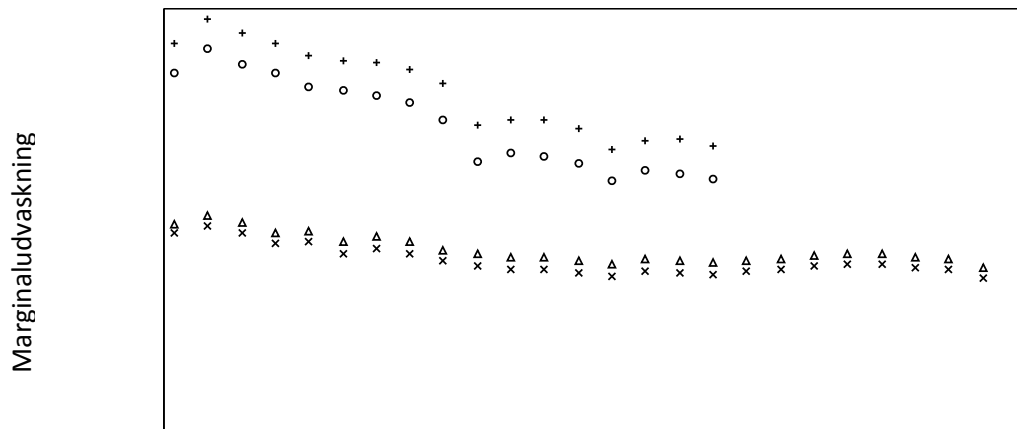
### 2.3.5 Forventninger til NLES5

Med en løbende ændring af dyrkningspraksis som følge af ændrede rammevilkår samt ny viden gennem forskning er det afgørende, at det empiriske grundlag for udvaskningsmodellen NLES fortsat opdateres, så modellen afspejler gældende praksis. Dette er gennem tiden sket med opdateringen af de forskellige versioner af NLES. I forhold til den nuværende NLES4 vil NLES5 blive suppleret med nye data, der repræsenterer nuværende dyrkningspraksis (se fodnote 1). Desuden gennemføres udvikling/kalibrering af

delkomponenter i modellen. Herunder udvikles modellens marginaludvaskning på både kort og lang sigt for både mineralsk- og husdyrgødning, hvor flere forsøg med varierende kvælstofgødningsniveau vil blive inddraget. Hvorvidt der vil være behov for at ændre i modellens opbygning eller marginaludvaskning kan ikke afklares, før den samlede analyse af modellen er gennemført.

## 2.4 Marginaludvaskning i Landovervågningen (LOOP) estimeret ved de empiriske modeller NLES3 og NLES4

Aarhus Universitet har undersøgt marginaludvaskningen i de to empiriske modeller NLES3 og NLES4 ud fra målinger i de 5 landovervågningsoplande, hvor landbrugspraksis kortlægges ud fra interviewdata. Marginaludvaskningen er den andel af ændringer i kvælstoftilførslen til landbrugsafgrøder, der resulterer i en ændret kvælstofudvaskning. Beregninger med NLES3 viser, at marginaludvaskningen i forhold til gødningsinput og landbrugspraksis er ændret fra omkring 40-44 % i 1991 til 26-30 % i 2006 (Figur 1, Tabel 5). NLES4 har en lavere marginaludvaskning, som er ændret fra 21-22 % i 1991 til 16-17 % i 2014. Forskellen i de to modellers beregnede marginaludvaskning er antageligt et produkt af forskelligheder i de to modellers struktur. Dette kommer bl.a. til udtryk i forhold til, hvordan forfrugt, sommer- og vinterafgrøder defineres, samt at høstet kvælstof ikke indgår som en forklaringsvariabel i NLES4. Yderligere er afstrømningen i NLES4 sæsonopdelt, hvor der i NLES3 benyttes den årlige afstrømning. De to modeller er desuden baseret på forskellige afstrømningsberegninger, idet afstrømningen primært blev beregnet med EVACROP i inputdata til NLES3, mens de seneste afstrømningsberegninger for alle målinger, som ligger til grund for NLES4 er beregnet med Daisy.



Figur 1. Marginaludvaskning beregnet med NLES3 og NLES4 for det dyrkede areal i Landovervågningsoplandene for perioden 1990-2006 (NLES3) og 1990-2014 (NLES4). Signaturforklaringen angiver den anvendte model samt størrelsen af den justerede mængde tildelte

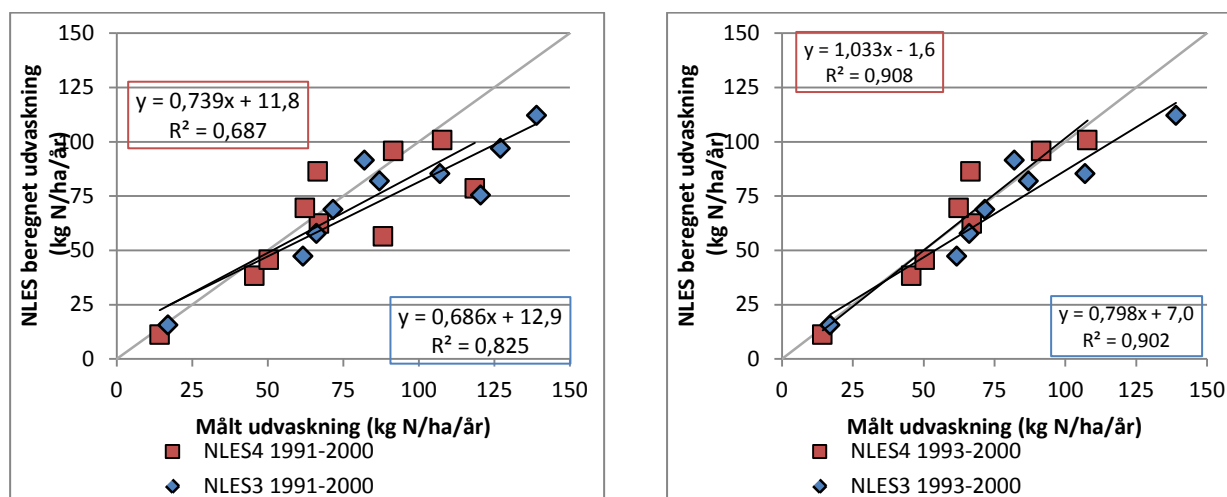


gødning (kg N/ha/år).

Tabel 5. Marginaludvaskning for udvalgte år beregnet med NLES3 og NLES4 for det dyrkede areal i Landovervågningsoplandene for perioden 1990-2006 (NLES3) og 1990-2014 (NLES4) ved to niveauer af ændret tildeling af mineralsk gødning. Linjen efter 1998 angiver, at perioden herefter er med 10 % normreduktion i udgangspunktet. Hvert opland vægter 1/5.

	NLES3		NLES4	
	-40 kg N/ha/år	+40 kg N/ha/år	-40 kg N/ha/år	+40 kg N/ha/år
1991	0,40	0,44	0,21	0,22
1998	0,33	0,37	0,18	0,19
2003	0,26	0,30	0,16	0,17
2006	0,26	0,30	0,16	0,17
2010	-	-	0,17	0,18
2014	-	-	0,16	0,17

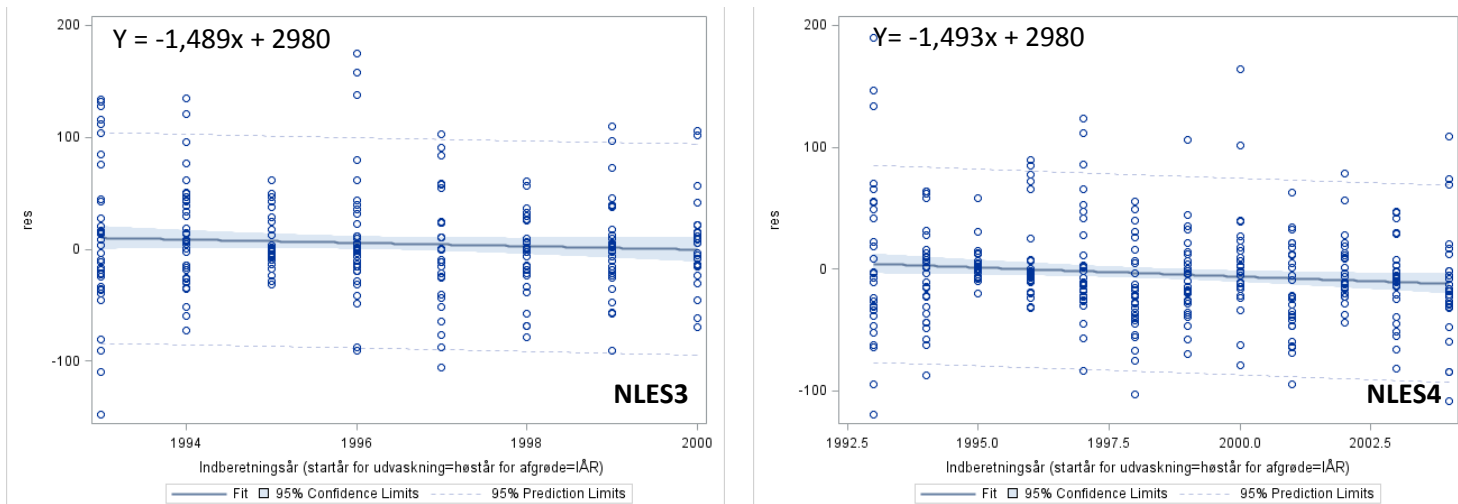
En analyse af hvordan de to modeller, NLES3 og NLES4, prædikerer den målte kvælstofudvaskning fra jordvandsstationer i Landovervågningen viser, at både NLES3 og NLES4 nogenlunde er i stand til at beregne et gennemsnitligt årligt udvaskningsniveau for den periode, de er sat op på (Figur 2).



Figur 2. Sammenhæng mellem den gennemsnitlige årlige målte og NLES beregnede udvaskning for perioden 1991-2000 (tv.) og for perioden 1993-2000 (th.). Hvert punkt angiver den gennemsnitlige årlige udvaskning for 29 jordvandsstationer.

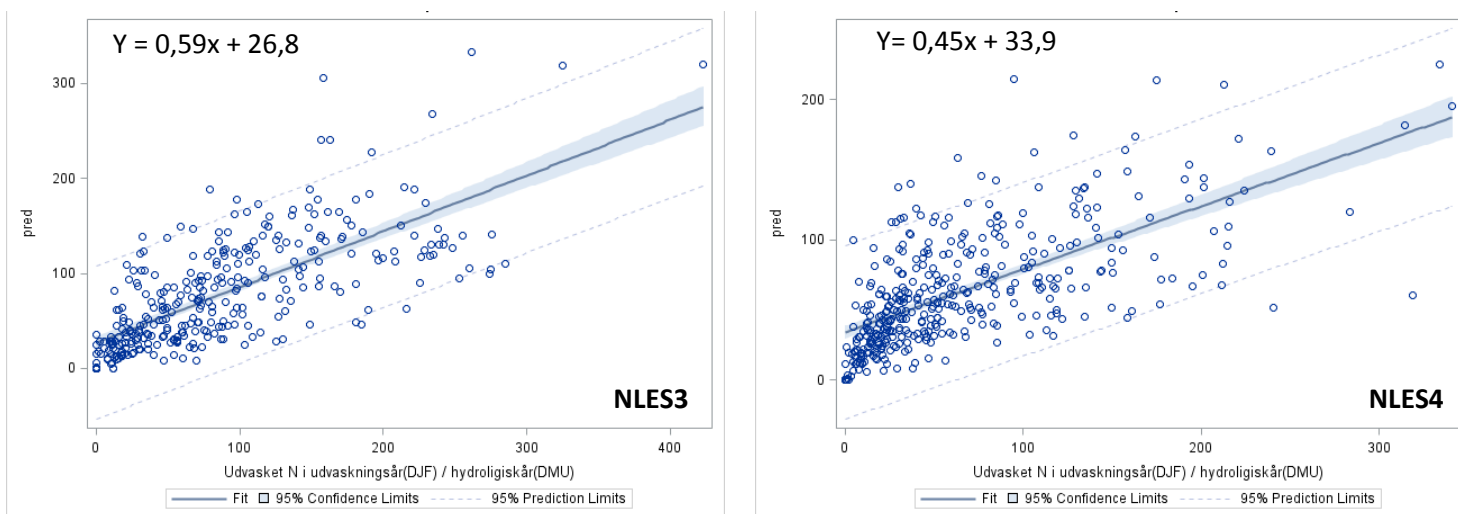
Begge modeller er desuden i stand til at eftervise trend i den årlige udvikling i den målte udvaskning for den periode, de er sat op på, idet der for den viste periode ikke kan påvises særlig udvikling i residualer mellem målt og prædikeret udvaskning, når de to første år 1991 og 1992, hvor den målte udvaskning var særlig høj, ikke medtages i analysen (Figur 3).





Figur 3. Residualplot for afvigelsen mellem målte og prædikterede værdier af udvaskning (kg N/ha/år) for NLES3 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1993-2003) og NLES4 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1993-2004).

Begge modeller har en tendens til at prædiktere for højt, når de målte udvaskninger er lave, mens udvaskning prædikteres for lavt ved høje målte observationer (Figur 4). Denne tendens er almindeligt kendt for empiriske modeller. Tendensen er mest udpræget for NLES4.



Figur 4. Sammenhæng mellem målte (x-akse) og prædikterede (y-akse) værdier af udvaskning (kg N/ha/år) for NLES3 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1991-2000) og NLES4 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1991-2004).

Det konkluderes, at begge modeller viser relativ god overensstemmelse med målinger i LOOP-oplandene men prædikterer for høj udvaskning, når de målte udvaskninger er lave og prædikterer for lav udvaskning ved høje målte observationer. Hvor det er muligt at sammenligne de to modeller, viser NLES3 generelt højere marginaludvaskning end NLES4 ved den pågældende landbrugspraksis. Det har ikke været muligt at foretage NLES3 beregninger ved den nuværende landbrugspraksis.

## 2.5 Perspektivering af størrelse på marginaludvaskningen

Generelt vil marginaludvaskningen afhænge af afgrøde, jordtype og afstrømning, og den vil generelt stige med stigende gødningsniveau. De her gennemførte beregninger, som resulterede i en marginaludvaskningen på ca. 1/5 er baseret på et kvælstofniveau 16 % under det økonomisk optimale i 2011, mens marginaludvaskningen ved økonomisk optimum er lidt højere (se Afsnit 2.2).

Gødningsniveauets betydning for udvaskning af kvælstof fremgår f.eks. af Wachendorf et al. (2004), som i nordtyske forsøg med majs på grovsandet jord (JB1) fandt stor effekt på udvaskningen ved øget tildeling af handels- og husdyrgødning. I forsøget var der desuden en markant øget effekt ved overgødskning. Marginaludvaskningen blev dog ikke særskilt opgjort i forsøget.

Under danske forhold har Manevski et al. (2015) belyst effekten af forskellige gødningsniveauer for grovsandet jord (JB1) og fin lerblandet sandjord (JB4) ved dyrkning af majs med efterafgrøde. Marginaludvaskningen var høj ved gødningsniveau over gældende kvælstofnormen, og der blev fundet store vekselvirkninger mellem forfrugt, efterafgrøder og udvaskning. Marginaludvaskningen var mindre end 20 % ved gødningsniveau under gældende kvælstofnormer. For ubevokset jord efter majs på specielt JB1 ved høje gødningsniveauer (150 % af kvælstofnormen) blev der fundet marginaludvaskninger på mere end 30 %.

Engström et al. (2010) undersøgte udvaskningen fra kornsædskifter ved varierende kvælstofniveauer under sydsvenske forhold. Marginaludvaskningen blev estimeret til at ligge mellem 0 og 20 % ved en kvælstoftilførsel mellem 0 og fuld gødningstildeling. 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. Ved tilførsel af kvælstof over det økonomisk optimale steg marginaludvaskningen eksponentielt.

Wachendorf et al. (2004) har i en sammenstilling af forsøg ved varierende kvælstoftilførsel til græsmarker opstillet en generel sammenhæng (empirisk baseret) mellem tilførsel af både handels- og husdyrgødning for forskellige afgræsningssystemer. Marginaludvaskningen steg fra 10 % ved tilførsel af 100 kg N/ha til 23 % ved tilførsel af 400 kg N/ha til afgræsningssmarker. Disse marker har pga. den inhomogene fordeling af afsat urin og gødningsklatter generelt større marginaludvaskning med græsmarker til slæt. En lavere effekt af slætgræs blev således også fundet i denne undersøgelse, hvor marginaludvaskningen var mindre end 5 % ved tilførsel af kvælstof mellem 150 og 400 kg N/ha.

I nye danske opgørelser af udvaskningen fra længerevarende forsøg (10 års observationer) under konstante kvælstofniveauer for kornsædskifter (både konventionelle og økologiske) er marginaludvaskningen bestemt på baggrund af tilførsel af gødning og afgrøderester (Pandey et al., 2015). I analysen er kvælstofniveauet defineret som tilførsel af kvælstof i både gødning og afgrøderester, da disse afgrøderester kan være afgørende for udvaskningen i økologiske systemer. En separat statistisk analyse viste en lidt højere marginaludvaskning af kvælstof tilført med gødning sammenlignet med planterester. I forsøget varierede marginaludvaskningen fra 1 til 27 %. Størst marginaludvaskning blev fundet på grovsandet jord (JB1, Jynde vad) og mindst på lerjord (JB6, Flakkebjerg). Marginaludvaskningen fra lerblandet sandjord (JB4, Foulum) blev bestemt til 8 %.

Der foreligger relativt få internationale forsøg, der ud fra stigende tilførsel af kvælstof i handelsgødning direkte belyser marginaludvaskningen fra forskellige afgrødetyper. Ud fra det ovenstående vurderes det imidlertid, 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.

### 3. Tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder

Effekten af tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder er beregnet på baggrund af det indberettede areal med obligatoriske efterafgrøder i gødningsplanerne til NAER i 2011. Det samlede krav til obligatoriske efterafgrøder var her opgjort til ca. 239.000 ha. Der er i beregningerne tilbagerullet ca. 231.000 ha svarende til 97 % af det samlede krav. Som anført i Børgesen et al. (2013) er der en forskel mellem oplyste alternativer til obligatoriske efterafgrøder og det areal, disse alternativer substituerer. Forskellen på ca. 7.000 ha indgår ikke i beregningen af tilbagerulningen af obligatoriske efterafgrøder.

Tilbagerulning af alternativer til obligatoriske efterafgrøder såsom mellemafgrøder, flerårig energipil og separation af husdyrgødning, indregnes som for obligatoriske efterafgrøder. Alternativet "Overdragelse af efterafgrøder til anden virksomhed" indgår ved, at modtageren af efterafgrøder har haft flere efterafgrøder end de obligatoriske.

Ændringen i havbelastningen er opgjort efter samme principper som for tilbagerulning af normreduktionen (se Afsnit 2). Således er der taget højde for, hvor efterafgrøderne er placeret i landet (id 15 oplandene) og effekten på ændringen af havbelastningen er opgjort her ud fra. Som det også er anført for tilbagerulning af normreduktion, er effekten af tilbagerulning opdelt på kystdeloplande behæftet med betydelig større usikkerhed end på landsplan, hvilket yderligere forstærkes af, at perkolation og jordtype gør efterafgrødeeffekten mere usikker på lerjord end på sandjord (Hansen og Thomsen, 2014).

Effekten af tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder er opgjort ved at anvende den revurderede effekt for efterafgrøder fra Virkemiddelkataloget (Hansen og Thomsen, 2014). For jordtyperne JB1-4 (mindre end 10 % ler i pløjelaget) er sandjordsestimerne anvendt (32 kg N/ha for <0.8 DE/ha og 45 kg N/ha for bedrifter >0.8 DE/ha). For jorde med mere end 10 % ler i pløjelaget er lerjordsestimerne anvendt (12 kg N/ha for <0.8 DE/ha og 24 kg N/ha for bedrifter >0.8 DE/ha). Oplysning om hvorvidt bedriften udbringer over 0,8 DE/ha fremgår af afkrydsningsfelt i gødningsregnskabet. Bedriften er klassificeret som lerjords- eller sandjordsbedrift ud fra den dominerende jordtype på bedriften.

Det skal bemærkes, at det ved at anvende de nævnte typetal antages, at de obligatoriske efterafgrøder tilbagerulles til ubearbejdet, hovedsageligt ikke-bevokset jord. Der er således tale om et øvre estimat for effekt af tilbagerulningen. Såfremt der i stedet tilbagerulles til jord med ukrudt og spildfrø eller til en vinterafgrøde, vil effekten af tilbagerulningen af efterafgrøderne være mindre som vist i f.eks. Askegaard et al. (2011). Ligeledes er det en forudsætning for beregningerne, at al dyrkning af obligatoriske efterafgrøder ophører ved tilbagerulning af kravet om obligatoriske efterafgrøder.

Den udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder er baseret på forsøg med varierende kvælstoftildeling i handels- og husdyrgødning (Hansen og Thomsen, 2014). Efterafgrøder vil ofte have kapacitet til at øge kvælstofoptaget ved øget kvælstoftilgængelighed i jorden, og med den usikkerhed der er forbundet med effekten i øvrigt, forventes deres udvaskningsreducerende effekt at være gældende både med og uden

forudgående normreduktion. For arealer med efterafgrøder skal der i gødningsregnskabet indregnes en eftervirkning dvs. krav om reduktion i gødningstilførslen det efterfølgende år svarende til 17 (<0,8 DE/ha) eller 25 kg N/ha (>0,8 DE/ha) (Anonym, 2015a). Denne effekt indgår implicit i typetallene for udvaskningsreduktion, da det er forudsætningen for typetallenes størrelse.

Beregninger af tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder viser en maksimal forøgelse af udvaskningen fra rodzonen på ca. 7.900 t N svarende til en gennemsnitlig ændring i rodzoneudvaskningen på 2,9 kg N/ha (Tabel 6). Effekten på havbelastningen udgør ca. 2.200 t N svarende til en ændring på ca. 0,8 kg N/ha.

*Tabel 6. Potentiel forøget udvaskning fra rodzonen og udledning til havmiljøet ved tilbagerulning af obligatoriske efterafgrøder beregnet vha. typetal (Hansen og Thomsen, 2014). Det er forudsat i beregningerne, at al dyrkning af obligatoriske efterafgrøder ophører og tilbagerulles til sort jord.*

Forøget udvaskning fra rodzonen (1.000 t N)	Forøget udvaskning fra rodzonen (kg N/ha)	Forøget udledning til havmiljøet (1.000 t N) <sup>a</sup>	Forøget udledning til havmiljøet (kg N/ha) <sup>a</sup>
7,9	2,9	2,2	0,8

<sup>a</sup>Beregnet efter Højberg et al. (2015).

Det er vanskeligt at vurdere, i hvor stor udstrækning efterafgrøder stadig vil blive dyrket efter en tilbagerulning af de obligatoriske efterafgrøder, idet dette bl.a. kan afhænge af den enkelte landmands erfaringer med efterafgrøder samt andre incitamenter til dyrkning af efterafgrøder. Indførelsen af Miljøfokusområder (MFO, Anonym, 2015b) på 5 % af omdriftsarealet fra 2015 kan have betydelig indflydelse på, hvor mange efterafgrøder, der vil blive dyrket fremover, hvis reglerne for fremtidige MFO fortsat vil inkludere de nuværende efterafgrøder. Som reglerne er nu, kan efterafgrøder og græsudlæg benyttes til at opfylde kravet om MFO. Derudover kan kravet opfyldes af randzoner og 2-m-bræmmer, GLM-landskabelementer samt brak og lavskov. De forskellige typer MFO vægtes dog forskelligt. For eksempel vægtes efterafgrøder og græsudlæg med en faktor 0,3, mens brak vægtes med en faktor 1,0 og randzoner og 2 m-bræmmer med en faktor 1,5. Det betyder for en bedrift med 100 ha omdriftsareal, at kravet om MFO f.eks. kan opfyldes af 3,3 ha randzone, 5 ha brak eller 16,6 ha efterafgrøder. De nuværende krav til obligatoriske efterafgrøder er på hhv. 10 og 14 % af efterafgrødegrundarealet (Anonym, 2015a), så hvis hovedparten af landmændene vælger at opfylde MFO-kravet med efterafgrøder, kan den lave vægtning betyde, at arealet med efterafgrøder forbliver uforandret selv efter en tilbagerulning. En sådan situation vil betyde, at effekten af tilbagerulning af efterafgrøder alene ville svare til den øgede udvaskning, der forventes ud fra den større mængde kvælstofgødning, der må tilføres, da MFO ikke har nogen eftervirkning. Eftervirkningen på 17 (<0,8 DE/ha) og 25 kg N/ha (>0,8 DE/ha) vil med de her beregnede 231.000 ha efterafgrøder, fordelt med 33 % under og 67 % over 0,8 DE/ha (Børgesen et al., 2013), svare til ca. 5.000 t N i øget kvælstoftilførsel. Ved en marginaludvaskning på 18 %, som beregnet af NLES ved tilbagerulning af normreduktionen, ville dette give anledning til en forøget udvaskning på 900 t N fra rodzonen.

Hvilken type MFO, der vælges på den enkelte ejendom, vil afhænge af ejendommens jordtyper, arrondering, økonomiske beregninger og den enkelt landmands erfaringer med efterafgrøder - herunder evt. en frygt for ikke at kunne etablere MFO-efterafgrøder, således at de fremstår som veletablerede og dækkende på arealet, hvilket er et krav for godkendelse. Opnåelse af en veletableret efterafgrøde kan være afhængig af gunstige vejrforhold. Anonym (2015b) gør desuden opmærksom på, at det kan være

problematisk at opnå en dækkende efterafgrøde allerede i september-oktober specielt i sent høstede afgrøder som f.eks. majs.

#### 4. Tilbagerulning af forbud mod jordbearbejdning i efteråret

Beregning af effekten af tilbagerulning af forbud mod jordbearbejdning i efteråret indbefatter ikke tilbagerulning af forbud mod omlægning af fodergræs. Effekten er beregnet på baggrund af de opgivne afgrøder indberettet til NAER i forbindelse med enkeltbetalingsordningen for årene 2010 og 2011. Beregningerne vedrører således det areal, hvor regelsættet omkring forbud mod jordbearbejdning har været aktuelt i efteråret 2010 til foråret 2011.

Forbud mod jordbearbejdning betyder generelt, at hvis det planlægges at så en vårafgrøde på en mark, må der ikke jordbearbejdes fra høst af afgrøden dyrket året før (her 2010) og indtil den 1. november på ler- og humusjord (JB5-11) og indtil den 1. februar på sandjord (JB1-4). Arealer, der er autoriseret til økologisk produktion, er ikke omfattet af forbuddet. Til forbuddet er derudover knyttet en række undtagelser, som beskrives nedenfor. Hvor forbuddet gælder, må der nedvisnes spildfrø og ukrudt fra 1. oktober. Effekten af forbuddet er under de givne betingelser vurderet til at reducere udvaskningen med 10 kg N/ha (Hansen et al., 2014) på baggrund af Hansen og Thomsen (2013).

I de foretagne beregninger er der taget udgangspunkt i den enkelte konventionelle bedrifts markarealer i 2010 og 2011 samt arealet med obligatoriske efterafgrøder på disse i 2010. Beregningen af arealet, hvor forbuddet gælder, er vist i Tabel 7. I beregningen indgår arealer med de vårsåede afgrøder i 2011, som fremgår af Tabel 8, men disse medregnes kun, såfremt afgrøden i 2010 (forfrugten) ikke er en af de undtagelser, der indgår i Tabel 9. Arealet med vårafgrøder (Tabel 8) minus undtagelser (Tabel 9) kaldes i det efterfølgende 'bruttoareal'. Undtagelserne omfatter gartneriafgrøder, flerårige vedplanter, kartofler, roer, kolbe- og kernemajs, samt arealer, der er omfattet af forbud mod omlægning af fodergræs (Anonym, 2015a). Helsæd er medtaget som undtagelse i Tabel 9, da det formodes, at der dyrkes udlæg af græs forud for vårafgrøden 2011.

For 15 % af de vårsåede arealer i 2011 (Tabel 7) var det ikke muligt at bestemme, om der kunne foretages jordbearbejdning i efteråret 2010. Arealet af undtagelser er derfor forhøjet med et areal svarende til samme fordeling af undtagelser som fundet på de 85 % af arealet, hvor der forelå oplysning om afgrøden i både 2010 og 2011.

Ud over arealer med afgrøder, der er undtaget fra forbuddet på grund af forfrugten (Tabel 9), er arealer med efterafgrøder i 2010 undtaget, da disse er omfattet af et andet regelsæt omkring jordbearbejdning (Anonym, 2015a). Areal med udlagte efterafgrøder er kun angivet på bedriftsniveau og kan derfor ikke direkte relateres til den enkelte mark. Det etablerede efterafgrødeareal (minus arealet der udgøres af alternativer til efterafgrøder) på den enkelte bedrift er derfor trukket fra det beregnede bruttoareal på denne (resultatet benævnes herefter nettoareal). Hvis efterafgrødearealet var større end det beregnede bruttoareal, er nettoarealet sat til 0. Arealer, hvorpå der ifølge skriftlig aftale med en offentlig myndighed ikke må anvendes sprøjtemidler, er undtaget af forbuddet, men det har i beregningerne ikke været muligt at se bort fra disse arealer.

For bedrifter med marker i flere hovedoplande er det samlede areal med forbud mod jordbearbejdning fordelt relativt på hovedoplande i forhold til, hvor stort et markareal bedriften har i det enkelte hovedopland. Som omtalt for tilbagerulning af normreduktion og obligatoriske efterafgrøder, er effekten af tilbagerulning af forbud mod jordbearbejdning behæftet med større usikkerhed på kystdeloplandene end på landsplan. Det skyldes bl.a., at der alene er taget udgangspunkt i afgrødefordelingen i et enkelt dyrkningsår.

Ved en tilbagerulning af hele nettoarealet er der ud fra antagelserne omkring virkningen på 10 kg N/ha beregnet en øvre effekt på 5.000 t N ud af rodzonen svarende til 1,8 kg N/ha i rodzonen og en effekt ud i havet på 1.400 tons N svarende til 0,5 kg N/ha (Tabel 7). Af dette areal forventes kun en fraktion at ville blive jordbearbejdet før de nugældende tidsfrister. I Børgesen et al. (2013) er det ud fra en interviewundersøgelse i seks LOOP-oplande opgjort, hvor stort et areal der i 2008-11, dvs. før forbuddets indførelse, blev bearbejdet før de nuværende tidsfrister. På baggrund af interviewundersøgelsen blev arealet beregnet til 14 % af det potentielle areal før forårssåede afgrøder. Ved anvendelse af samme fraktion kan det estimeres, at tilbagerulning af forbud mod jordbearbejdning vil øge udvaskningen fra rodzonen med 1.200 tons N (Tabel 7).

Det er usikkert, hvorvidt antagelserne for 2008-11 gælder under fremtidige rammebetingelser. En tidlig jordbearbejdning kan være ønskelig ud fra et behov for ikke-kemisk ukrudtsbekæmpelse, mens en sen jordbearbejdning kan mindske risikoen for jordfygning på lette jorde. Ligeledes vil det arealmæssigt spille ind, i hvor høj grad MFO dækkes af efterafgrøder, idet et mindre areal med efterafgrøder vil øge det areal, der kan jordbearbejdes efter høst.

*Tabel 7. Samlet konventionelt areal i 2011, hvor virkemidlet forbud mod jordbearbejdning i efteråret er beregnet til at have været gældende i 2010-2011, samt potentielt øget udvaskning fra rodzonen og udledning til havmiljøet ved tilbagerulning. Beregningerne har taget udgangspunkt i den enkelte bedrift og dens geografiske placering og er beregnet med typetal (Hansen et al., 2014). Beregningerne er gennemført dels under forudsætning om, at alle arealer, hvor forbuddet har været gældende, vil blive jordbearbejdet efter høst efter en tilbagerulning dels ud fra Børgesen et al. (2013).*

	Konventionelt areal	Potentielt øget udvaskning	Potentielt øget udvaskning
	(1.000 ha)	(1.000 t N)	(kg N/ha)
Vårsåede afgrøder fra Tabel 8	799		
Fradrag pga. undtagelser i Tabel 9	-122		
Bruttoareal	677		
Fradrag for udlagte efterafgrøder <sup>a</sup>	-182		
<b>Nettoareal omfattet af forbud mod jordbearbejdning</b>	<b>495</b>		
Heraf uden stedfæstelse til vandopland <sup>b</sup>	-10		
<b>Nettoareal i udtræk fordelt på vandoplande</b>	<b>485</b>		
Maksimal forøget udvaskning fra rodzonen		5,0	1,8
Forventet forøget udvaskning fra rodzonen <sup>c</sup>		1,2	0,4
Forventet forøget udledning til havmiljøet <sup>d</sup>		0,3	0,1

<sup>a</sup>Efterafgrøder indbefatter kun de udlagte arealer (se forklaring i teksten).

<sup>b</sup>Arealer, som ikke kan knyttes til et hovedopland f.eks. på grund af manglende oplysninger.

<sup>c</sup>Udvaskning fra arealer der forventes at tilbagerulles til efterårsjordbearbejdning (Børgesen et al., 2013).

<sup>d</sup>Beregnet efter Højberg et al. (2015).

Tabel 8. Areal af vårsåede afgrøder (ha) i 2011 som indberettet i forbindelse med enkeltbetalingsordningen.

Type	Afgrødekode	Afgrøde	Konventionel	Økologisk	I alt
<b>Vårsæd til modenhed</b>					
	1	Vårbyg	460.280	12.612	472.892
	2	Vårhvede	10.325	6.164	16.489
	3	Havre	31.584	10.059	41.643
	4	Andre kornarter, vårsået	265	3.855	4.120
	5	Majs til høst ved modenhed	10.511	39	10.550
	6	Vårhvede, brødhvede	2.554	653	3.207
	7	Korn+bælgsæd, vårsået maks 50 % bælgsæd	243	4.063	4.306
<b>Oliefrø m.v.</b>			515.762	37.445	553.207
	21	Vårraps	1.826	27	1.853
	23	Rybs	6	0	6
	24	Solsikke	52	3	55
	25	Sojabønner	10	2	12
	180	Gul sennep	260	14	274
	181	Anden oliefrøart	128	65	193
<b>Bælgsæd</b>					
	30	Ærter	4.431	1.365	5.796
	31	Hestebønner	684	762	1.445
	32	Sødlupin Ikke bitterlupin.	111	347	458
	35	Flerårig bælgsæd	0	0	0
	36	Anden bælgsæd til modenhed	22	71	94
	215	Ærtehelsæd	2.292	2.279	4.571
<b>Kartofler</b>					
	151	Stivelseskartofler	19.413	58	19.472
	153	Kartofler, andre	3.487	9	3.496
<b>Fabriksproduktion</b>					
	160	Roer til fabrik	39.953	0	39.953
	161	Cikorierødder	19	0	19
	162	Andre industriafgrøder/rodfrugter	2	4	6
<b>Helsæd og grønkorn</b>					
	210	Vårbyg, helsæd	10.626	1.701	12.327
	211	Vårhvede, helsæd	58	0	58
	212	Havre, helsæd	259	113	372
	213	Blandkorn, vårsået, helsæd	380	72	452
	214	Korn+bælgsæd, helsæd max 50 % bælgsæd	3.992	4.470	8.462
	216	Silomajs	169.704	6.112	175.816
	230	Vårkorn, grønkorn	20.490	2.402	22.892
	234	Korn+bælgsæd, grønkorn max 50 % bælgsæd	1.138	498	1.636
<b>Andre foderafgrøder</b>					
	280	Fodersukkerroer	3.946	37	3.983
	281	Kålroer Turnips, kålrabi	10	4	13
	282	Fodermarvkål	37	0	38
	283	Fodergulerødder	2	0	2

Øvrige

Type	Afgrødekode	Afgrøde	Konventionel	Økologisk	I alt
	430	Bladpersille	19	4	24
	448	Medicinplanter, en- og toårige	0	20	20
	449	Medicinplanter, stauder og vedpanter	4	11	15
	510	Melon	0	1	1
	511	Græskar	90	8	98
	40	Oliehør. Alle former for hør undtagen spindhør	18	15	34
	42	Hamp	1	24	25
<b>I alt</b>			<b>799.232</b>	<b>57.945</b>	<b>857.177</b>



Tabel 9. Afgrøder der ved dyrkning i 2010 medfører, at jordbearbejdning før den vårsåede afgrøde i 2011 ikke er omfattet af forbud mod jordbearbejdning (Anonym, 2015a).

Årsag til undtagelse	Afgrødekode	Afgrøde
<b>Flerårige vedplanter</b>		
	311	Skovrejsning på tidligere landbrugsjord 1
	520	Kirsebær og blomme uden undervækst af græs
	521	Kirsebær og blomme med undervækst af græs
	522	Blomme, uden undervækst
	523	Blomme, undervækst
	526	Hylde
	527	Hassel
	528	Æble
	529	Pærer
	530	Druer
	531	Anden træfrugt
	533	Rønnebær
	534	Hyben
	536	Spisedruer
	539	Blandet støtteberettiget frugt
	580	Skovdrift, alm.
	581	Nyplantning i skov med træhøjde
	582	Skovrejsning på tidligere landbrugsjord
	583	Juletræer
	584	Juletræer i fredskov
	586	Skovrejsning på tidligere landbrugsjord 2
	587	Skovrejsning på tidligere landbrugsjord 3
	588	Statslig skovrejsning
	589	Bæredygtig skovdrift
	591	Lavskov
	592	Pil
	593	Poppel
	594	El
<b>Fodergræs omfattet af andet regelsæt</b>		
	173	Kløver til slæt
	255	Perm. græs under 50 % kløver omlagt mindst hvert 5. år
	256	Perm. græs over 50 % kløver omlagt mindst hvert 5. år
	257	Perm. græs uden kløver omlagt mindst hvert 5. år
	258	Perm. græs, ø-støtte
	260	Kløver- og lucernegræs under 50 % kløver (omdrift)
	261	Kløvergræs over 50 % kløver (omdrift)
	262	Lucerne og lucernegræs m. over 50 % lucerne (omdrift)
	263	Græs uden kløver (omdrift)
<b>Helsæd</b>		
	210	Vårbyg, helsæd
	211	Vårhvede, helsæd

Årsag til undtagelse	Afgrødekode	Afgrøde
	212	Havre, helsæd
	213	Blandkorn, vårsået, helsæd
	214	Korn+bælgsæd, helsæd max 50 % bælgsæd
	220	Vinterbyg, helsæd
	221	Vinterhvede, helsæd
	222	Vinterrug, helsæd
	223	Triticale, helsæd
	224	Blandkorn, efterårssået, helsæd
<b>Kartofler</b>		
	150	Læggekartofler
	151	Stivelseskartofler
	152	Spisekartofler
	153	Kartofler, andre
<b>Kolbe- og kernemajs</b>		
	5	Majs til høst ved modenhed
<b>Roer</b>		
	160	Roer til fabrik
	280	Fodersukkerroer
	281	Kålroer Turnips, kålrabi
<b>Gatneriafgrøde</b>		
	122	Kommenfrø
	123	Valmuefrø
	124	Spinatfrø
	125	Bederoerfrø
	126	Andet markfrø til udsæd
	400	Asier
	401	Asparges
	402	Bladselleri
	403	Blomkål
	404	Broccoli
	405	Courgette, squash
	406	Grønkål
	407	Gulerod
	408	Hvidkål
	409	Kinakål
	410	Knoldselleri
	411	Løg
	412	Pastinak
	413	Rodpersille
	415	Porre
	416	Rosenkål
	417	Rødbede
	418	Rødkål
	420	Salat

Årsag til undtagelse	Afgrødekode	Afgrøde
	421	Savoykål, spidskål
	422	Spinat
	423	Sukkermajs
	424	Ærter, konsum
	429	Jordskok, konsum
	431	Purløg
	432	Krydderurter, andre
	433	Krydderurt
	450	Grøntsager, andre
	501	Stauder
	503	En- og toårige planter
	513	Jordbær
	544	Snitblomster og snitgrønt
	651	Dildfrø
	652	Kinesisk kålfrø
	653	Karsefrø
	655	Radisfrø
	656	Bladbedefrø, rødbedefrø
	657	Grønkålfrø
	658	Gulerodsfrø
	659	Kålfrø (hvid- og rødkål)
	660	Persillefrø
	661	Kørvelfrø
	662	Majroefrø
	664	Skorsonerrodfrø
	665	Havrerodfrø
	666	Purløgfrø
	667	Timianfrø
	668	Blomsterfrø
	669	Andet havefrø

## 5. Referencer

- Andersen, H.A., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jensen, P.N., Vinther, F.P., Sørensen, P., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Jørgensen, U., Jacobsen, B. 2012. Virkemidler til N-reduktion - potentialer og effekter. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi 27. februar 2012. 35 pp. [http://dca.au.dk/fileadmin/DJF/Nyheder\\_nov\\_2011/Virkemidler\\_til\\_N\\_reduktion\\_\\_potentiale\\_r\\_og\\_effekter.pdf](http://dca.au.dk/fileadmin/DJF/Nyheder_nov_2011/Virkemidler_til_N_reduktion__potentiale_r_og_effekter.pdf)
- Anonym 2011. Bidragsydere: Børgesen, C.D., Grant, R., Gyldenkærne, S., Jensen, P.N., Hansen, E.M., Jørgensen, U., Olesen, J.E., Petersen, B.M., Rubæk, G.H., Sørensen, P., Vinther, F.P. Notat nr. 2 vedrørende effekter af forskellige tiltag i forbindelse med Grøn Vækst. Aarhus Universitet. 50 pp. [http://pure.au.dk/portal/files/38211855/010511\\_DJF\\_DMU\\_notat\\_2\\_inkl\\_Baselinegruppens\\_kommentarer\\_og\\_sp\\_rgsml.pdf](http://pure.au.dk/portal/files/38211855/010511_DJF_DMU_notat_2_inkl_Baselinegruppens_kommentarer_og_sp_rgsml.pdf)
- Anonym 2015a. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august til 31. juli 2015. Revideret 10. februar 2015. [http://naturerhverv.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning\\_om\\_goedsknings-\\_og\\_harmoniregler\\_nyeste.pdf](http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_nyeste.pdf)
- Anonym 2015b. Vejledning om direkte arealstøtte 2015. Grundbetaling, grønne krav, ø-støtte og støtte til unge nyetablerede landbrugere. NaturErhvervstyrelsen. [http://naturerhverv.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte\\_stoette\\_-\\_grundbetaling\\_mm/2015/Vejledning\\_\\_endelig\\_udgave\\_januar\\_2015.pdf](http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte_stoette_-_grundbetaling_mm/2015/Vejledning__endelig_udgave_januar_2015.pdf)
- Askegaard, M., Olesen, J.E., Rasmussen, I.A., Kristensen, K. 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 142, 149-160.
- Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jørgensen, U., Poulsen, H.D. 2003. Vandmiljøplan II – Slutevaluering af de enkelte virkemidler. Status 2002, prognose for 2003. Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II – slutevaluering. Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 35 pp. [http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMPII/Slutevaluering\\_af\\_de\\_ekelte\\_virkemidler.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMPII/Slutevaluering_af_de_ekelte_virkemidler.pdf)
- Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. 2013. Udvikling i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, DCA Rapport nr. 31, 154 pp. <http://pure.au.dk/portal/files/68362856/dcarapporten31.pdf>
- Børgesen, C.D., Waagepetersen, J., Iversen, T.M., Grant, R., Jacobsen, B., Elmholt, S. (redaktører), 2009. Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III – DJF-rapport Markbrug nr. 142. 238 pp. <http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/2841678/djfma142.pdf.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*. Available online at: [www.agronomy-journal.org](http://www.agronomy-journal.org).

- Eriksen, J., Jensen, P. N., Jacobsen, B.H. 2014. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. Tjele: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA Rapport 052.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jørgensen, V., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D., Børsting, C., Jørgensen, J.O., Schou, J.S., Kristensen, E.S., Waagepetersen, J., Mikkelsen, H.E. 2000. Vandmiljøplan II – midtvejsevaluering. Miljø- og Energiministeriet & Danmarks Miljøundersøgelser. 65 pp. [http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMPII\\_midtvejs\\_web.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMPII_midtvejs_web.pdf)
- Grant, R., Waagepetersen, J. 2003. Vandmiljøplan II – slutevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Jordbrugsforskning. 36 pp. [http://www.vmp3.dk/Files/Filer/Slutrappporter/VMPII\\_Slutevaluering\\_web.pdf](http://www.vmp3.dk/Files/Filer/Slutrappporter/VMPII_Slutevaluering_web.pdf)
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K. 2013. Baggrundsnotat 2. Jordbearbejdning. I Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. DCA rapport nr. 31, side 101-106.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K. 2014. Bilag 3. Efterafgrøder: Revurdering af udvaskningsreducerende effekt. I Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA rapport nr. 52, side 241-254.
- Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Rubæk, G.H., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Schelde, K., Olesen, J.E., Strandberg, M.T., Jacobsen, B.H., Eberhardt, J.M. 2014. Forbud mod jordbearbejdning i visse perioder. I Eriksen, J., Jensen, P.N., Jacobsen, B.H. (redaktører). Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA rapport nr. 52, side 125-130.
- Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C.T., Styczen, M. 2012. Daisy: Model use, calibration, and validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers 55, 1315-1333.
- Højberg, A.L., Windolf, J., Børgesen, C.D., Troldborg, L., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang B., Thodsen, H., Ernstsén, V. 2015. National kvælstofmodel, Oplandsmodel til belastning og virkemidler – Metode Rapport, Revideret udgave september 2015. GEUS. Under udarbejdelse.
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffmann, C.C., Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D., Kristensen, V.F. 1998. Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 44 pp.
- Kristensen, K. 2002. N-LES2. Kort notat om genberegning af N -LES (givet som en modificering af tidligere beskrivelse efterfulgt af ændringer og kommentarer). 11 pp.
- Kristensen, K., Jørgensen, U., Grant, R. 2003. Genberegning af modellen N-LES. Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II - slutevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet. 12 pp. [http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMPII/Genberegning\\_af\\_modellen\\_NLES.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMPII/Genberegning_af_modellen_NLES.pdf)
- 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. DJF Plant Science 139. 25 pp. [http://www.dmu.dk/fileadmin/Resources/DMU/Vand/3\\_%20NLES.pdf](http://www.dmu.dk/fileadmin/Resources/DMU/Vand/3_%20NLES.pdf)

- 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.
- NAER 2015. Generelt om de danske kvælstofregler. Historisk gennemgang af kvælstofnormerne. <http://naturerhverv.dk/landbrug/goedning/generelt-om-de-danske-kvaelstofregler/#c33442>
- 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*. Accepted.
- Petersen, J. Sørensen, P. 2004. 4.3. Ændringer i regelsættet for gødskning, harmoni m.m. I: Jørgensen, U. (redaktør). Muligheder for forbedret kvælstofudnyttelse i marken og for reduktion i kvælstof – Faglig udredning i forbindelse med forberedelsen af Vandmiljøplan III – DJF-rapport Markbrug nr. 103. 233 pp. <http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/458408/djfma103.pdf>
- Petersen, J., Djurhuus, J. 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødde, kornrige sædskifter. DJF rapport, Markbrug 102.
- Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Blicher-Mathiesen, G. og Kern-Hansen, C. 2002. Vandbalance på mark - og oplandsskala. DJF rapport, Markbrug nr. 70. Aarhus Universitet, 45 pp.
- Schou, J.S., Kronvang, B., Birr-Pedersen, K., Jensen, P.L., Rubæk, G.H., Jørgensen, U., Jacobsen, B.H. 2007. Virkemidler til realisering af målene i EU's Vandrammedirektiv. Danmarks Miljøundersøgelser – Aarhus Universitet – Faglig rapport nr. 625. 128 pp. [http://www2.dmu.dk/Pub/FR625\\_Final.pdf](http://www2.dmu.dk/Pub/FR625_Final.pdf)
- Simmelsgaard, S. E. 1998. The effect of crop, N -level, soil type and drainage on nitrate leaching as affected by crop type and long -term N fertilizer rate. *Soil Use and Management*, 14, 30-36.
- Simmelsgaard, S. E., Djurhuus, J. 1998. An empirical model for estimating nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management*, 14, 37-43.
- Simmelsgaard, S.E. 1991. Estimering af funktioner for kvælstofudvaskning. I Rude, S. (redaktør), *Kvælstofgødning i landbruget - behov og udvaskning nu og i fremtiden*. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut. Rapport nr. 62, side 135-150.
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, K., Andersen, H.E., Grant, R., Jørgensen, J.O., Østergaard, H.S. 2000. Empirisk model til beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen. Danmarks JordbrugsForskning. - DJF rapport Markbrug nr. 32. <http://pure.au.dk/portal/files/458538/djfm32.pdf>
- 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.
- Waagepetersen, J., Grant, R., Børgesen, C.D., Iversen, T.M. 2008. Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet og Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 36 pp. [http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/2617161/VMPIII\\_midtvejs\\_2008.pdf](http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/2617161/VMPIII_midtvejs_2008.pdf)

## Bilag 1. Behov for opdatering af Virkemiddelkataloget fra december 2014 hvor ændret NLES (marginaludvaskning) slår igennem

Da der ved opgørelse af effekten af tilbagerulning af normreduktionen er beregnet en marginaludvaskning af kvælstof, som ligger noget lavere end tidligere anvendt i en række sammenhænge (se Afsnit 2.2), har NAER ønsket en gennemgang af Virkemiddelkataloget fra december 2014 (Eriksen et al., 2014a) med henblik på at identificere, om der er virkemidler, hvor der er behov for at opdatere effekterne samt deres omkostningseffektivitet. Gennemgangen skal bruges i forbindelse med arbejdet på en landbrugs- og fødevarepakke, ny arealregulering samt vandplanarbejdet. Bestillingen er opdelt i tre faser, hvor 1. og 2. fase gennemføres af AU (DCA/DCE) og 3. fase gennemføres af IFRO. De skitserede tre faser er:

Fase 1: Identificere virkemidler

Alle virkemidler i kataloget gennemgås med henblik på at vurdere hvilke, der vil være påvirket af en ændret marginaludvaskning.

Fase 2: Kvantificere ændringen i effektvurderingen

Opgøre den ny effekt på baggrund af ændret marginaludvaskning for de i fase 1 udpegede virkemidler.

Fase 3: Økonomiberegne omkostningseffektiviteten

Genberegning af de økonomiske omkostninger på baggrund af ændret effektvurdering i fase 2.

### Besvarelse

I Afsnit 2, 3 og 4 er der gennemført en effektberegning på tilbagerulning af tre generelle virkemidler: normreduktion, obligatoriske efterafgrøder samt forbud mod jordbearbejdning i efteråret. Effekten af tilbagerulning af normreduktionen blev gennemført med NLES4 på baggrund af landbrugsdata fra høståret 2011, som var et af de år, som også indgik i Grøn Vækst evalueringen (Børgesen et al., 2013).

Tilbagerulningen af obligatoriske efterafgrøder og forbud mod jordbearbejdning i efteråret blev beregnet med typetal fra Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) ligeledes ved anvendelse af arealdata fra 2011.

De gennemførte beregninger ved NLES4 af en tilbagerulning af normreduktion resulterede i en marginaludvaskning fra rodzonen på ca. 1/5 (Afsnit 2.2), som skal betragtes som et arealvægtet middelresultat for hele landbrugsarealet i Danmark i 2011. Marginaludvaskningen på 1/5 dækker dels kornafgrøder med højere marginaludvaskning end gennemsnittet dels græsmarker med mindre marginaludvaskning end gennemsnittet. Denne marginaludvaskning er som påpeget i Afsnit 2.2 lavere end generelt antaget ud fra bl.a. Petersen og Djurhuus (2004) samt tidligere opgørelser, hvor marginaludvaskningen har været sat til 1/3.

I Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) er den udvaskningsreducerende effekt præsenteret i en tabel (Tabel o.1.) indeholdende samtlige foreslåede virkemidler. I Tabel 1 er denne tabel gentaget mht. den estimerede udvaskningsreducerende effekt i rodzonen. I tabellen er desuden tilføjet en kolonne, hvori det anføres, om en ændret marginaludvaskning vil påvirke den oprindeligt fastsatte udvaskningsreducerende effekt. Der er tilføjet en kommentar for samtlige virkemidler, uanset om de i Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) blev vurderet egnede som virkemidler eller ej.

Som det fremgår af Tabel 1, er der ingen af de i Eriksen et al. (2014a) angivne effekter, der påvirkes af de beregninger, der er gennemført i Afsnit 2.2 og som altså resulterede i en marginaludvaskning på ca. 1/5. Det betyder, at Fase 2 og Fase 3 i nærværende bestilling ikke vil være aktuelle.

Når marginaludvaskningen, beregnet ud fra NLES4, ikke påvirker den oprindeligt fastsatte udvaskningsreducerende effekt har det flere årsager, som afhænger af det enkelte virkemiddel. For en del af virkemidlerne, som er baseret på markforsøg, er resultaterne direkte målt og altså uafhængige af marginaludvaskningen. Det gælder f.eks. efter- og mellemafgrøder. I andre tilfælde, som f.eks. randzoner og brak, er estimatet for den udvaskningsreducerende effekt fundet som differencen mellem en forventet udvaskning fra sådanne arealer og en gennemsnitlig udvaskning baseret på NLES4. Disse modelberegninger er altså baseret på samme opsætning af NLES4 som anvendt i Afsnit 2.2, hvorfor den beregnede effekt i Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) ikke påvirkes (se dog note 6 under Tabel 1). Hvis den igangværende opdatering af NLES4 (se fodnote 1) måtte bevirke en væsentlig ændring i beregningen af den generelle udvaskning, vil effekten af de virkemidler, der er baseret på en differens, også ændres.

Den egentlige udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder påvirkes ikke af en ændring i marginaludvaskningen, da effekten er baseret på markforsøg (Tabel 1). De obligatoriske efterafgrøder er pålagt en eftervirkning - dvs. en efterfølgende reduktion i gødningskvoten - på hhv. 17 kg N/ha (under 0,8 DE/ha) og 25 kg N/ha (over 0,8 DE/ha) (Anonym, 2015). Denne eftervirkning blev fastlagt af Normudvalget i 2005 på baggrund af modelberegninger med FASSET (Berntsen et al., 2005). Indtil en anden beregningsmetode eventuelt vedtages, anses det for mest hensigtsmæssigt at fastholde den nuværende eftervirkning, som også indgik i de økonomiske beregninger i Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a). Det skal bemærkes, at den forøgede kvælstofkvote i forbindelse med udlægning af frivillige efterafgrøder (Anonym, 2015) er baseret på en højere marginaludvaskning end estimeret i Børgesen et al. (2015), og at tillægget til kvoten derfor vil skulle ændres ved anvendelse af den lavere marginaludvaskning. Der er ikke gennemført økonomiske beregninger omkring frivillige efterafgrøder i Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a), hvorfor Fase 2 og Fase 3 for frivillige efterafgrøder ikke anses for relevante i nærværende besvarelse.

Den generelle udvaskning fra husdyrgødning blev nyberegnet i Sørensen og Børgesen (2015) på basis af NLES4 modellen. I samme forbindelse blev effekten af afbrænding af husdyrgødning også genberegnet med det samme modelgrundlag. I Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) var der for virkemidlet afbrænding af husdyrgødning benyttet en langsigtet udvaskningsfaktor på 30 % for uorganisk kvælstof og 45 % for organisk kvælstof. I Sørensen og Børgesen (2015) blev anvendt en marginaludvaskning for uorganisk kvælstof på 13 % på lerjord og 23 % på sandjord, dvs. 18 % som et simpelt gennemsnit. Sørensen og Børgesen (2015) vurderede ud fra forsøg, modelberegninger og eksperter skøn, at udvaskningen fra tilført organisk kvælstof i tilførselsåret er den samme som for uorganisk kvælstof, mens den langsigtede udvaskning fra resterende organisk kvælstof, mineraliseret efter første år, er dobbelt så høj, svarende til 26 % på lerjord og 46 % på sandjord, dvs. 36 % i simpelt, ikke-vægtet gennemsnit. Der forventes en gennemsnitlig mineralisering af organisk kvælstof i husdyrgødning i første år på 22 %. Med disse revurderede udvaskningsfaktorer er der nu beregnet en gennemsnitlig langsigtet nettoeffekt af afbrænding af fiber fra afgasset svinegylle på 4,4 kg N/DE (før: 5,0) og for afgasset kvæggylle på 8,4 kg N/DE (før 8,0).



Ved afbrænding af fjerkrædybstrøelse beregnes en reduktion i kvælstofudvaskningen på 19,3 kg N/DE (før 20). Den nyberegnete nettoeffekt giver ikke anledning til at ændre på den beregnede effekt i Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a), idet usikkerheden på beregningen vurderes at være større end ændringen.

Som det fremgår af ovenstående og Tabel 1 ændres effekten af virkemidlerne i Eriksen et al. (2014a) ikke af, at marginaludvaskningen i Afsnit 2.2 er beregnet til ca. 1/5.

*Tabel 1. Estimeret reduceret kvælstofudvaskning af virkemidler fra Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) samt en vurdering af, om en ændret marginaludvaskning påvirker estimatet. IV og IR angiver, at værdien er henholdsvis "Ikke Vurderet" eller "Ikke Relevant".*

<b>Virkemiddel</b>	<b>Reference-praksis/ kommentar</b>	<b>Årlig N-effekt</b> 1)	<b>Vurdering af hvorvidt en ændret marginaludvaskning påvirker den estimerede årlige N-effekt</b>
<b>Efterafgrøder</b>	Jord uden efterafgrøde	12-45 kg N ha <sup>-1</sup> 2)	Er baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Mellemafgrøder</b>	Vintersæd uden mellemafgrøder	9-13 kg N ha <sup>-1</sup>	Er hovedsageligt baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Afgrøder med høj kvælstofoptagelse:</b> Sukkerroer	Jord uden efterafgrøde	12-45 kg N ha <sup>-1</sup> 2)	Er hovedsageligt baseret på sammenligninger mellem efterafgrøder og afgrøder med høj N-optagelse. Den udvaskningsreducerende effekt påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Afgrøder med høj kvælstofoptagelse:</b> Græs og frøgræs	Jord uden efterafgrøde	>12-45 kg N ha <sup>-1</sup> 2)	
<b>Afgrøder med høj kvælstofoptagelse:</b> Foderroer	Data mangler	Pt. ikke datagrundlag	Der kan ikke angives en kvantificerbar kvælstofeffekt for foderroer.
<b>Tidlig såning af vinterhvede (7. september)</b>	Normal såning af vinterhvede (23. september)	5-8 kg N ha <sup>-1</sup>	Er baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Flerårige energiafgrøder</b>	Kornrige sædskifter under den nuværende regulering	34-51 kg N ha <sup>-1</sup> 2)	Er baseret på forskellen mellem udvaskningen fra energiafgrøder og et modelberegnet interval for udvaskning fra kornrige sædskifter. Påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning. Se dog 6)
<b>Brak (ikke permanent udtagning)</b>	Jord i omdrift	35-58 kg N ha <sup>-1</sup> 2)	Er baseret på forskellen mellem udvaskningen fra energiafgrøder og et modelberegnet interval for udvaskning fra kornrige sædskifter. Påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning. Se dog 6)
<b>Permanent udtagning</b>	Jord i omdrift	50 kg N ha <sup>-1</sup>	Er baseret på et gennemsnitligt landsestimat af udvaskning fra landbrugsjord, der permanent

			udtages af landbrugsdrift. Effekten er forskellen mellem denne effekt og den gennemsnitlige NLES4 beregnede udvaskning. Påvirkes ikke af marginaludvaskning.
<b>Randzoner</b>	Jord i omdrift og varig græs	37-74 kg N ha <sup>-1</sup>	Er baseret på et gennemsnitligt landsestimat af udvaskning fra landbrugsjord, der permanent udtages af landbrugsdrift. Effekten er forskellen mellem denne effekt og den gennemsnitlige NLES4 beregnede udvaskning opdelt på fem afgrødegrupper. Påvirkes ikke af marginaludvaskning.
<b>Fjernelse af biomasse i randzoner og engarealer</b>	Ingen fjernelse af biomasse	Pt. ikke datagrundlag	Der kan ikke angives en kvantificerbar kvælstofeffekt for fjernelse af biomasse.
<b>Skovrejsning</b>	Jord i omdrift	50 kg N ha <sup>-1</sup>	Er baseret på et gennemsnitligt landsestimat af udvaskning fra landbrugsjord, hvorpå der rejses skov. Effekten er forskellen mellem denne effekt og den gennemsnitlige NLES4 beregnede udvaskning. Påvirkes ikke af marginaludvaskning.
<b>Forbud mod jordbearbejdning i efteråret</b>	Jord der bearbejdes	10 kg N ha <sup>-1</sup>	Er hovedsageligt baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Forbud mod omlægning af fodergræs om efteråret</b>	Intet forbud mod omlægning om efteråret	36 kg N ha <sup>-1</sup>	Er hovedsageligt baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Reduceret jordbearbejdning</b>	Konventionel jordbearbejdning	0 <sup>3)</sup>	Er hovedsageligt baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Nedmuldning af halm før vintersæd</b>	Fjernelse af halm før vintersæd	0 <sup>3)</sup>	Er hovedsageligt baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Biochar</b>	Ingen biochar produktion og tilsætning	0 <sup>3)</sup>	Der kan ikke angives en kvantificerbar kvælstofeffekt for biochar.
<b>Positionsbestemt tilførsel af gødning</b>	Bredspredning af handelsgødning	1-2 kg N ha <sup>-1</sup>	Effekten er skønnet og påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Ændret udbringningsperiode for husdyrgødning om efteråret</b>	Husdyrgødningen kan gemmes til næste forår, alternativt udbringes inden 1. september	Samlet effekt: 1.850 t N	Den samlede effekt er uændret, da den er uafhængig af marginaludvaskning.
<b>Afbrænding af husdyrgødning</b>	Antages kun at være aktuelt for	Svinegylle: 5 kg N DE <sup>-1</sup>	Der er foretaget nye beregninger i Sørensen og Børgesen (2015), hvilket ikke giver ikke anledning til

	biogasbehandlet gylle	Kvæggylle: 8 kg N DE <sup>-1</sup> Fjerkrædybstrøelse: 20 kg N DE <sup>-1</sup>	at ændre på den beregnede effekt i Eriksen et al (2014a), idet usikkerheden på beregningen er betydeligt større end ændringen.
<b>Kontrolleret dræning</b>	Almindelig dræning	Pt. ikke datagrundlag	Er baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Konstruerede mini-vådområder med overfladisk afstrømning</b>	Er målrettet dræntransport; virker uden for markfladen	5-20 kg N ha <sup>-1</sup> opland; 500-3.500 kg N ha <sup>-1</sup> anlæg	Er baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Konstruerede mini-vådområder med filtermatrice</b>	Er målrettet dræntransport; virker uden for markfladen	5-35 kg N ha <sup>-1</sup> opland; 500-7.000 kg N ha <sup>-1</sup> anlæg	Er baseret på målinger gennemført under markforhold, hvorfor den udvaskningsreducerende effekt ikke påvirkes af en ændret marginaludvaskning.
<b>Vådområder</b>	Jord i omdrift	120-190 kg N ha <sup>-1</sup> 4)	Påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Marine virkemidler:</b>			
<b>Muslingeopdræt</b>	IR	600-900 kg N ha <sup>-1</sup> 5)	Påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Tangdyrkning</b>	IR	16 kg N ha <sup>-1</sup> 5)	Påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Udplantning af ålegræs</b>	IR	IV	En evt. effekt påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.
<b>Stenrev</b>	IR	IV	En evt. effekt påvirkes ikke af en ændret marginaludvaskning.

- 1) For alle virkemidler – bortset fra de forskellige typer af vådområder, muslingeopdræt og tang-dyrkning – er effekterne beregnet i rodzonen.
- 2) Intervallet afspejler ler-sand effekter.
- 3) Vurderes ikke egnet som kvælstofvirkemiddel.
- 4) Effekten er pr. hektar vådområdeanlæg. Den angivne effekt på kvælstof kan anvendes til overslagsberegninger i planlægningen. Der bør laves en konkret beregning i forbindelse med projektering af vådområder.
- 5) Arealet gælder produktionsareal (dvs. pr. ha anlæg). For marine virkemidler er de angivne effekter til brug i forbindelse med planlægningen. Ved konkrete anlæg af marine virkemidler anbefales det at gennemføre en specifik effektberegning med indregning af lokale forhold.
- 6) I forbindelse med Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014a) blev der udarbejdet to notater (Eriksen et al., 2014b; Eriksen et al., 2015). I disse notater blev effekten af virkemidlerne anvendt til at beregne en relativ reduktion af nitratudvaskningen på sand og ler, opdelt på hhv. <0,8 DE/ha, 0,8-1,4 DE/ha og >1,4 DE/ha. Den relative reduktion blev beregnet ud fra en NLES4-beregnet udvaskning inden for hver kombination af jordtype og dyretæthed. Disse kombinationer indgik ikke generelt i Virkemiddelkataloget. For visse virkemidler, f.eks. energiafgrøder og brak, blev den udvaskningsreducerende effekt angivet som en reduktion til en fast værdi (10 eller 20 kg N/ha), dvs. deres udvaskningsreducerende effekt skal beregnes som en differens i forhold til en referenceværdi for udvaskningen. Idet der i Eriksen et al. (2014b) og Eriksen et al. (2015) for alle virkemidler er taget udgangspunkt i de samme NLES4-bereggede værdier for udvaskningen, ændres effekterne af de virkemidler, der i Virkemiddelkataloget er baseret på differens. Det betyder, at hvis der i forbindelse med beregninger af miljømæssige eller økonomiske konsekvenser tages udgangspunkt i kombinationer af jordtype og dyretæthed, skal effekten baseres på den effekt, der kan beregnes ud fra Eriksen et al. (2014b) og Eriksen et al. (2015).

## Referencer

- Anonym 2015. Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2015 til 31. juli 2016.  
[http://naturerhverv.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Files/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning\\_om\\_goedsknings-\\_og\\_harmoniregler\\_nyeste.pdf](http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Files/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_nyeste.pdf)
- Berntsen, J., Petersen, B.M., Hansen, E.M., Jørgensen, U., 2005. Eftervirkning efterafgrøder. Notat til N-normudvalget. Notat til Planteavlsorientering 07-550.  
[https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Efterafgroeder/Sider/Notat\\_til\\_Planteavlsorientering\\_nr\\_07550.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Efterafgroeder/Sider/Notat_til_Planteavlsorientering_nr_07550.aspx)
- Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. 2013. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. DCA rapport nr. 31.
- Eriksen, J. (red.), Jensen, P.N. (red.), Jacobsen, B.H. (red.) 2014a. Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA rapport nr. 52.
- Eriksen, J., Børgesen, C.D., Schelde, K., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Jørgensen, U., Søgaard, K., Olesen, J.E. 2014b. Notat vedrørende bestillingen "Opfølgning på svar angående virkemidler i forhold til Ny Arealregulering": Procentvis reduktion af kvælstofudvaskningen ved anvendelse af virkemidler. Notat til NaturErhvervstyrelsen 31. oktober 2014.
- Eriksen, J., Børgesen, C.D., Schelde, K., Hansen, E.M., Thomsen, I.K., Kristensen, I.T., 2015. Notat vedrørende bestillingen "yderligere opfølgning på svar angående virkemidler i forhold til Ny Arealregulering". Notat til NaturErhvervstyrelsen 30. januar 2015.
- Petersen, J., Djurhuus, J. 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødde, kornrige sædskifter. DJF rapport, Markbrug nr. 102.
- Sørensen, P., Børgesen, C.D. 2015. Kvælstofudvaskning og gødningsvirkning ved anvendelse af afgasset biomasse. (Effects of anaerobic digestion of organic manures on nitrogen leaching and manure fertilizing effects). DCA rapport nr. 65.

## **Bilag 2. Uddybning af Afsnit 2.4 om marginaludvaskning i Landovervågningen (LOOP) estimeret ved de empiriske modeller NLES3 og NLES4**

### **Sammenfatning**

Aarhus Universitet har undersøgt marginaludvaskningen i de to empiriske modeller NLES3 og NLES4 ved at ændre tilførslen af mineralsk kvælstof. Marginaludvaskningen er den andel af ændringer i kvælstoftilførsel til landbrugsafgrøder, der resulterer i en ændret kvælstofudvaskning. Ved at anvende interviewdata for landbrugspraksis i landovervågningen viser NLES3 modellen, at marginaludvaskningen i forhold til gødningsinput og landbrugspraksis ændres fra omkring 40-44 % i 1991 til 26-30 % i 2006. NLES4 har en noget lavere marginaludvaskning, som ændrer sig fra 21-22 % i 1991 til 16-17 % i 2014. Forskellen i de to modellers marginaludvaskning er formentlig ændringer i de to modellers struktur bl.a. hvordan forfrugt, sommer og vinterafgrøder defineres og at høstet kvælstof ikke indgår som en forklaringsvariabel i NLES4.

Den anvendte marginaludvaskning i de forskellige redegørelser og evalueringer fra før Vandmiljøplan II (VMPII) og til midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan III (VMPIII) er gennemgået. Marginaludvaskningen har ændret sig fra omkring 25 % i det faglige grundlag fra før VMPII til omkring 33 % i slutevalueringen af VMPII og midtvejsevalueringen af VMPIII. Stigningen skyldes bl.a. en øget vintervedbør, da en ny dansk korrektion for sne og hagl blev lagt til vintervedbøren.

En analyse af hvordan de to modeller, NLES3 og NLES4, kan simulere den målte kvælstofudvaskning og den målte afstrømningsvægtede kvælstofkoncentration for jordvandsstationer i Landovervågningen viser, at begge modeller er i stand til at beregne udviklingen i udvaskningen i den periode, de to modeller er sat op for på nær de to første år, 1991 og 1992, hvor der er målt meget høj kvælstofudvaskning. Begge modeller giver for disse to år en lavere modelberegnet kvælstofudvaskning. NLES3 giver dog en lidt bedre beskrivelse af den tidlige udvikling i kvælstofkoncentration i perioden 1993-2000.

## 1. Indledning

I forbindelse med bestillingen fra NaturErhvervstyrelsen af 11. september 2015 omkring uddybning af baggrunden for NLES3 vs. NLES4 og den ændrede vurdering af marginaludvaskning har Aarhus Universitet undersøgt marginaludvaskningen i de to empiriske modeller NLES3 og NLES4 på baggrund af data fra Landovervågningsoplandene (LOOP).

Med vedtagelse af Vandmiljøplan II (VMP II) i 1998 blev kvælstoftilførslen til landbrugsafgrøder reduceret med 10 % af den økonomisk optimale kvælstofnorm. Selve normreduktionen blev iværksat med virkning fra gødskningsåret 1998/99. I perioden før vedtagelsen af VMPII og til i dag har marginaludvaskningen været anvendt til at vurdere virkemidlers reducerende effekt på udvaskningen. Marginaludvaskningen har igennem denne periode været estimeret og vurderet ved bl.a. at anvende forskellige versioner af den empiriske udvaskningsmodel NLES og forløberen til denne model (Simmelsgaard, 1991). I dette notat gennemgås forudsætninger for og niveauet af anvendt marginaludvaskning før vedtagelsen af VMPII, i midt- og slutevaluering af virkemidlers effekt på udvaskning i VMPII og i midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan III.

For at vurdere de to empiriske modellers evne til at simulere den målte kvælstofudvaskning fra aktuel landbrugspraksis er der gennemført en analyse af NLES3- og NLES4-modelleret udvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration på marker med målte koncentrationer i jordvand fra 29 jordvandsstationer i landovervågningen.

## 2. Baggrund: Anvendelse af faktor for marginaludvaskning

Som en del af forarbejdet til Vandmiljøplan II blev der gennemført en faglig vurdering af forskellige virkemidlers reducerende effekt på kvælstofudvaskningen (Iversen et al., 1998). Heri blev der foretaget to beregninger af reduktionen i kvælstofudvaskning som følge af at nedsætte gødningsnormer til landbrugsafgrøder (10, 20 og 30 % sænkning af normerne). Beregningerne blev udført dels med udgangspunkt i data fra landovervågningen, dels på landsdækkende data, begge for dyrkningsåret 1995/96 (beregning nr. 1 i Tabel 1). I de to beregninger blev der anvendt samme empiriske model for sammenhængen mellem tilført gødning og udvaskning (Simmelsgaard, 1991). I beregningen blev det forudsat, at kravene i Handlingsplanen for Bæredygtigt landbrug var opfyldt, og at krav om 10 % øget udnyttelse af husdyrgødning blev efterlevet. Ved sænkning af afgrødernes kvælstofnormer på markniveau blev det antaget, at en sænkning af gødningsnormen medførte bedst mulig udnyttelse af husdyrgødning, og at der derfor først skæres ned i forbruget af handelsgødning på de marker, der får mest gødning i forhold til normen. Dvs. at overgødsning på markniveau reduceres. Ved en sænkning af gødningsnormen på 10 % faldt forbruget af handelsgødning med 43.000 t N, og udvaskningen blev reduceret med 10.900 t N. I beregningen blev resultaterne fra landovervågningsoplandene opskaleret til det dyrkede areal for hele landet. Dette gav en beregnet marginaludvaskning på 25 %.

Tabel 1. Anvendt marginaludvaskning i faglig vurdering og evaluering af VMPII samt i midtvejsevaluering af VMPIII.

Område	Anvendt marginaludvaskning (%)	Beregningsmetode	Data grundlag	Reference
1: Vandmiljøplan II – faglig vurdering	26 (25-27)	Udvaskningsmodel, (Simmelsgaard, 1991)	LOOP data og hele landet 1996	Iversen et al. (1998)
2: VMPII - midtvejsevaluering	25	NLES1	LOOP data 1998/99	Grant et al. (2000)
3: Genberegning af VMPI og II*	29 (27-34)	NLES2	LOOP data 1998/99	Grant (2002)
4: Slutevaluering af VMPII	33	NLES3 samt Petersen og Djurhuus (2003)	LOOP data 1998/99	Grant et al., (2003) Blicher-Mathiesen et al. (2003)
5: Mitvejsevaluering af VMPIII	33		LOOP data 1998/99	Waagepetersen et al. (2008)

\*Højere marginaludvaskning pga. af et højere udvaskningsniveau og mere vinternedbør

Anden beregning anvendte data for hele landet i 1996 og byggede på, at gødningsnormen for 1995/96 udgjorde 370.000 t N for dette år (uden kvælstofprognosen). En sænkning af normen på 10 % medførte en tilsvarende sænkning i forbruget af handelsgødning på 37.000 t N. Det var forudsat, at gødningen var jævnt fordelt, og der blev ikke taget højde for evt. overgødsning. Sænkning af gødningsnormerne indebar, at husdyrgødningen skulle omfordes. Ved en sænkning af kvælstofbehovet på 10 % faldt forbruget af handelsgødning med 37.000 t N, og udvaskningen blev reduceret med 10.000 t N. Dette gav en marginaludvaskning på 27 %. I Vandmiljøplan II - faglig vurdering (Iversen et al., 1998) blev der anvendt et gennemsnit af de to beregninger, hvilket gav en reduceret udvaskning på 10.500 t N for hele landet ved at sænke gødningsnormerne med 10 %, svarende til en reduktion i det årlige forbrug af handelsgødning på 40.000 t N. Disse beregninger af udvaskningseffekt ved at reducere normerne med 10 % blev indarbejdet i den politiske aftale om VMPII.

I midtvejsevalueringen af VMP II (beregning nr. 2 i Tabel 1) blev der anvendt en marginaludvaskning på 25 % ved mindre gødningstilførsel ift. afgrødernes optimale gødningsnorm (Grant et al., 2000).

Marginaludvaskningen blev vurderet ved at anvende data for gødningstilførsel og landbrugspraksis for 1998/1999 samt den empiriske model NLES1 (Simmelsgaard et al., 2000) på landovervågningsdata for 1998/99 (Grant et al., 2000).

Effekterne af virkemidler i VMPI og II i midtvejsevalueringen blev genberegnet pga. ny viden om nedbørskorrektioner og fordampning (Grant, 2002) (beregning nr. 3 i Tabel 1). I genberegningen blev der anvendt en højere marginaludvaskning på gennemsnitlig 29 %, opgjort som et gennemsnit af 27-34 %. Marginaludvaskningen blev her opgjort ved at anvende NLES2 på LOOP-data for 1998/99. Den større marginaludvaskning i genberegningen skyldtes et højere udvaskningsniveau – bl.a. fordi nedbør og

fordampning tidligere havde været undervurderet. NLES2 gav gennemsnitlig en højere udvaskning for afgrøder efterfulgt af bar jord end de tidligere anvendte NLES-modeller, idet vinterneedbøren blev højere som følge af at vinterneedbøren nu blev korrigeret for sne og hagl.

I slutevalueringen af VMPII blev der anvendt en marginaludvaskning på 33 % opgjort med udvaskningsmodellen NLES3 på data fra Landovervågningsoplandene (beregning nr. 4 i Tabel 1). Den fundne marginaludvaskning svarede til størrelsen fundet ved balancebetragtninger på data fra forsøg i Petersen og Djurhuus (2004) som for kornrige sædskifter konkluderede, at en ændring i tilførsel med handelsgødning på 1 kg N/ha ville ændre udvaskningen med 0,25-0,35 kg N/ha. I slutevalueringen af VMPII (Grant et al., 2003; Blicher-Mathiesen et al., 2003) blev der anvendt en højere marginaludvaskning på 40 - 50 %, når en reduktion i tilførsel omfattede organisk kvælstof i husdyrgødning.

I midtvejsevaluering af VMPIII blev udvaskningen beregnet med NLES4 og SKEP/DAISY og som marginaludvaskning for virkemidler blev anvendt 33 % (Waagepetersen et al., 2008). Sidstnævnte er en fortsættelse af antagelserne for marginaludvaskningen i VMPII slutevalueringen, idet den i NLES4 dengang blev vurderet til at være for lav.

### **3.1 Beskrivelse af NLES modeller**

Alle NLES-modellerne bygger på de erfaringer, der blev opnået i de første empiriske udvaskningsmodeller, der blev udviklet af Simmelsgaard i 1991 (Simmelsgaard, 1991; Simmelsgaard, 1998) og hvoraf et udvidet arbejde er publiceret internationalt i Simmelsgaard og Djurhuus (1998). Data fra Simmelsgaard og Djurhuus (1998) ligger desuden til grund for den relative udvaskningsfunktion, der indgår i Petersen og Djurhuus (2004).

NLES-modellen er empirisk, hvilket betyder, at den bygger på de måledata, modellen er opsat på. Modellen er derfor kun gyldig for forhold svarende til de eksperimenter, den er funderet på. Det vil sige, at hvis der sker store ændringer i sædskifte eller dyrkningspraksis, vil modellen ikke nødvendigvis beregne en troværdig udvaskning. Derfor er NLES-modellerne gennem tiden gradvist blevet opdateret.

NLES3 er en videreudvikling af NLES2 (Kristensen, 2002) og den oprindelige NLES1, som blev til i et samarbejde mellem Danmarks JordbrugsForskning (DJF), Dansk Landbrugsrådgivning og Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) (Simmelsgaard et al., 2000). Videreudviklingen var i første omgang nødvendigjort af ændringer i de tilgrundliggende data forårsaget af ændringer i den måde, nedbørskorrektion og fordampning hidtil havde været beregnet på (Plauborg et al., 2002). Der er siden arbejdet videre med modellen, idet der i grundlaget for NLES3 er inkluderet en lang række yderligere forsøgsdata. Endvidere er der i forhold til tidligere versioner af modellen medtaget en effekt af fjernet kvælstof og en årseffekt – også kaldet en teknologieffekt (Kristensen et al., 2003). Årseffekten er en samlet effekt af den teknologiske udvikling i landbruget, som ikke er beskrevet gennem gødningstildelingen og ved sædskiftet.

NLES2, NLES3 og NLES4 blev alle udviklet med det formål, at modellerne skulle kunne anvendes til at beregne et landsdækkende udvaskningsniveau. Derfor har der i modeludviklingen været fokus på at modellerne gennemsnitligt har været i stand til at simulere den målte udvaskning. Modellerne har



efterfølgende været anvendt på data for gødnings- og landbrugspraksis for hele landet og for landovervågningsoplandene. Det har ikke været et formål, at modellerne skal kunne beregne et udvaskningsniveau på lokalt skala eller oplande, hvorved test og validring af modelles evne til dette ikke har været et specifikt arbejdsområde.

### 3.1.1 NLES3

Modellens datagrundlag består af 1299 observationer af årlig kvælstofudvaskning - heraf udgør data fra Landovervågningsoplandene de 338 observationer (26 %). De resterende observationer stammer fra markforsøg og drænvandsundersøgelser foretaget af det tidligere Institut for Jordbrugsvidenskab, nu Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Perkolationen fra rodzonen, der blev anvendt til at simulere udvaskningen, blev beregnet med Daisy-modellen for to lerjordsoplande: Højvads Rende på Lolland (LOOP 1) og Lillebæk (LOOP 4). Perkolation til de resterende LOOP-oplande og forsøgsdata blev beregnet med EVACROP (Olesen og Heidmann, 2002).

Modellen omfatter additive effekter af kvælstofniveau, tilført kvælstof i foråret, kvælstof fjernet med høstede afgrøder, tilført kvælstof i efteråret, kvælstof i udbinding samt afgrøde og effekter af arealanvendelse året før den voksende afgrøde. De multiplikative effekter omfatter jordtype og afstrømning.

Som en parameter indgår desuden kvælstof fjernet med høstede afgrøder i NLES3. Det betyder, at modellen inddrager det aktuelle udbytte det enkelte år, hvor udvaskningen er målt.

### 3.1.2 NLES4

Modellen er en videreudvikling af NLES3 og er udviklet på baggrund af 1467 observationer for årlig kvælstofudvaskning - heraf udgør data fra Landovervågningsoplandene 409 observationer (28 %). Perkolation til NLES4 er beregnet med Daisy-modellen.

Modellen består af en række multiplikative effekter for:

- Vandafstrømning (opdelt i 3 perioder for henholdsvis det aktuelle år samt året før)
- Jordens lerindhold
- Jordens humusindhold

Tilgængelighed af kvælstof bestående af følgende additive effekter:

- Kvælstofniveau (gennemsnit af 5 foregående år)
- Kvælstof i handelsgødning opdelt på forårs- og efterårstilførsel
- Husdyrgødningens  $\text{NH}_4$ -indhold opdelt på forårs- og efterårstilførsel
- Kvælstoffiksering og kvælstof afsat ved afgræsning
- Effekt af afgrøden (årets hovedafgrøde, efterårsbevoksning i året samt sommerforfrugt og vinterforfrugt)
- Jordens kulstofindhold som udtryk for jorden kvælstofindhold
- Teknologieffekt

Desuden inkluderes der i modellen en additiv effekt af, om data stammer fra henholdsvis en forsøgsmark eller fra marker tilhørende private ejendomme i Landovervågningsoplandene. Således estimeres det, at kvælstofudvaskningen fra privatejede arealer er højere end udvaskningen fra et tilsvarende areal i et kontrolleret forsøg. Ved opsætning af modellen blev der ikke fundet nogen signifikant effekt af lufttemperaturen, husdyrgødningens organiske indhold, samt afgrødeudbyttet. Jordbearbejdning indgår ikke som en specifik effekt, men er delvist indeholdt i teknologieffekten. Kvælstof fjernet med høstede afgrøder indgår ikke i modellens forklaringsvariable, da effekten ikke var signifikant. Det betyder, at NLES4 modellen beregner udvaskning ved et gennemsnitligt udbyttensniveau.

### **3.1.3 Usikkerhedsvurdering af NLES-modellerne**

Der er ikke foretaget en egentlig validering og usikkerhedsvurdering af NLES4-modellen. En analyse af usikkerhed og validering af NLES3 er beskrevet i Larsen and Kristensen (2007). Her blev valideringen foretaget ved at estimere modellens parametre på en delmængde af observationer. Det blev fundet, at udvaskningsfunktionen var forholdsvis stabil og at usikkerheden på en enkelt prædiction mellem estimeret og målt værdi lå mellem 20 og 40 %, men faldt til mellem 10 og 30 % hvis beregningen blev foretaget på flere år eller mange marker.

## **4. Marginaludvaskning**

De vigtigste faktorer, som påvirker kvælstofudvaskningen på et givent areal er jordtype, klima, gødskning (handels- og husdyrgødning), afgrøder samt jordbearbejdning. Holdes alle faktorer konstante med undtagelse af tilført kvælstof, vil den teoretiske sammenhæng mellem tilført kvælstof og kvælstofudvaskning fra rodzonen antage form som en eksponentiel voksende kurve. Dvs. at andelen af udvasket kvælstof fra rodzonen stiger i forhold til stigende kvælstoftilførsel. Altså udvaskes en større andel af det tilførte kvælstof ved et højt niveau af kvælstoftildeling. Det er særdeles vanskeligt præcist at estimere den faktiske respons under naturlige forhold (dvs. under forskellige sædskifter og år til år ændringer i nedbør). I de efterfølgende afsnit er den gennemsnitlige marginaludvaskning beregnet for Landovervågningsoplandene med NLES3 og NLES4.

### **4.1 Metode til beregning af marginaludvaskning**

Modelberegningen er gennemført på baggrund af interviewdata for henholdsvis 16 (NLES3: 1990/1991-2005/2006) og 24 (NLES4: 1990/1991-2013/2014) driftsår. Hvert driftsår er gennemregnet med klimadata for henholdsvis 10 (NLES3: 1990/1991-1999/2000) og 20 (NLES4: 1990/1991-2009/2010) agrohydrologiske år. Denne fremgangsmåde er valgt for at neutralisere effekten af det enkelte års klima samt for i modelsimuleringerne at inkorporere den klimatiske variation, idet udvaskningen ikke responderer lineært på ændringer i perkolationen. Det generelle kvælstofniveau antages for marker at være lig bedriftens gennemsnitlige gødningsforbrug. Herved antages, at årets gødningspraksis har været gældende for de 5 tidligere år, som var grundlaget for kvælstofniveauet i modelopsætningen.

Perkolation til udvaskningsmålinger i NLES3 har det daværende Danmarks Miljøundersøgelser, afdeling for Vandløbsøkologi beregnet vha. en afstrømningsmodel EVACROP på LOOP 2,3 og 6 og Daisy på LOOP 1 og 4 (Grant et al., 2002). Nedbøren blev korrigeret til jordoverfladen med faste månedskorrekationer (Allerup et al., 1998), og den potentielle fordampning blev beregnet efter Makkink med afgrødefaktorer (Plauborg et al., 2002).

Til NLES4 har Institut for Bioscience beregnet perkolationen på hver jordvandsstation med Daisy-modellen (version 4.01), hvor nedbøren er døgn-dynamisk korrigeret og den potentielle fordampning er beregnet efter Makkink.

For at illustrere hvordan beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen i NLES3 og NLES4 responderer på ændret gødningstildeling, er der udført en række simuleringer, hvor gødningstildeling i foråret samt gødskningsniveau er justeret med henholdsvis -40 og +40 kg N/ha. Den gennemsnitlige, årlige marginaludvaskning er herefter beregnet for hvert landovervågningsopland ved ligning 1:

$$\text{Marginaludvaskning} = \frac{Udv_0 - Udv_1}{N_0 - N_1} \quad (\text{Lign. 1})$$

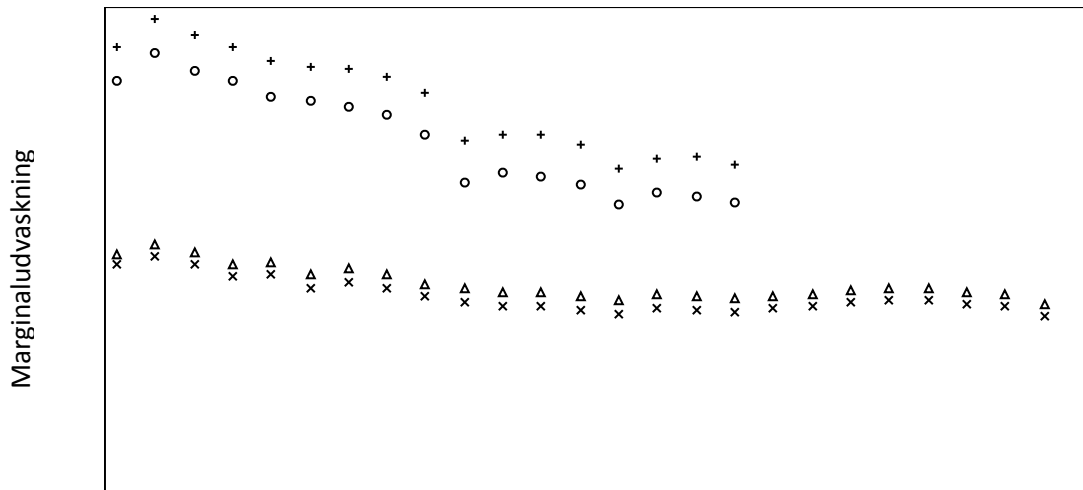
hvor  $N_0$  er gødningstildeling i udgangspunktet og  $N_1$  er den justerede gødningstildeling.

$Udv_0$  er N udvaskning fra rodzonen i udgangspunktet og  $Udv_1$  er udvaskning med justeret gødningstildeling. Den gennemsnitlige marginaludvaskning for de fem landovervågningsoplande er herefter midlet så hvert LOOP opland vægter 1/5. Herved er den gennemsnitlige marginaludvaskning for alle landovervågningsoplande uafhængig af det enkelte oplands størrelse. Det må dog understreges, at den gennemsnitlige marginaludvaskning for begge modeller vil dække over betydelig variation, som vil variere fra sted til sted og imellem de enkelte oplande.

## 5. Resultater

### 5.1 Marginaludvaskning beregnet ved NLES3 og NLES4

Marginaludvaskning beregnet med NLES3 for perioden 1991-2006 og for NLES4 for perioden 1991-2014 er vist i Figur 1. For begge modeller ses en nedadgående tendens, som kan skyldes ændringer i landsbrugspraksis, eksempelvis gennem lavere niveauer af gødningstildeling, et ændret tidspunkt for udspredning af husdyrgødning samt ændrede sædskifter (efterafgrøder). For NLES3 falder marginaludvaskningen fra 0,44 til 0,30 i perioden 1991-2006 for en ændret gødningstildeling på +40 kg N ha<sup>-1</sup> år (Tabel 2). For NLES4 ses et fald fra 0,22 til 0,17 i samme periode under samme betingelser. Denne nedadgående tendens er mere udpræget i NLES3 end i NLES4. Desuden responderer NLES3 også kraftigere på ændringer i gødningstildelingen, som det kan ses af den større forskel i marginaludvaskning ved de to niveauer af gødningstildeling (Figur 1).



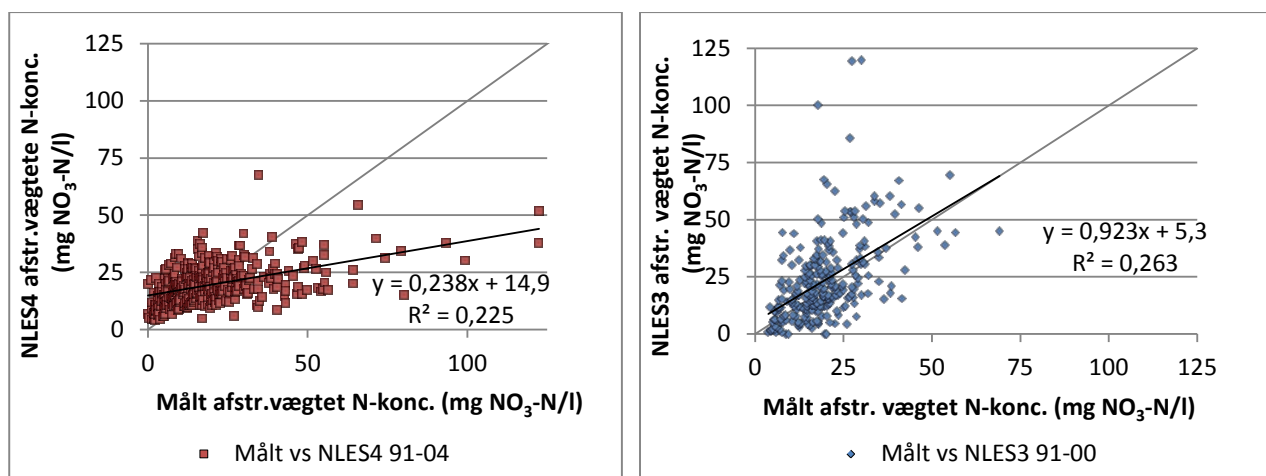
Figur 1. Marginaludvaskning beregnet med NLES3 og NLES3 for det dyrkede areal i Landovervågningsoplandene for perioden 1990-2006 (NLES3) og 1990-2014 (NLES4). Signaturforklaringen angiver den anvendte model samt størrelsen af den justerede mængde tildelte gødning.

Tabel 2. Marginaludvaskning for udvalgte år beregnet med NLES3 og NLES3 for det dyrkede areal i Landovervågningsoplandene for perioden 1991-2006 (NLES3) og 1991-2014 (NLES4) ved to niveauer af ændret gødningstildeling. Linjen efter 1998 angiver at perioden herefter er med 10 % normreduktion i udgangspunktet. Hvert opland vægter 1/5 i gennemsnittet.

	NLES3		NLES4	
	-40 kg N ha <sup>-1</sup>	+40 kg N ha <sup>-1</sup>	-40 kg N ha <sup>-1</sup>	+40 kg N ha <sup>-1</sup>
1991	0,40	0,44	0,21	0,22
1998	0,33	0,37	0,18	0,19
2003	0,26	0,30	0,16	0,17
2006	0,26	0,30	0,16	0,17
2010	-	-	0,17	0,18
2014	-	-	0,16	0,17

## 5.2 Sammenligning af målt og NLES3/NLES4 beregnet udvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration

Sammenhæng mellem den målte og modelberegnete afstrømningsvægtede nitratkoncentration er vist for alle observationer i Figur 2. NLES3-modellen er sammenholdt med målt udvaskning for perioden 1991-2000, da afstrømningen ikke er beregnet med samme forudsætninger efter dette år. NLES4-modellen er sammenholdt med målt afstrømningsvægtet nitratkoncentration for perioden 1991-2004. Af den viste sammenstilling ses, at de målte data dækker over et meget bredt koncentrationsinterval. Den bedste lineære sammenhæng mellem modelleret og målt nitratkoncentration viser en hældning på 0,92 for NLES3 og 0,24 for NLES4. Begge estimerede lineære sammenhænge mellem modelleret og målt nitratkoncentration har en lav forklaringsgrad ( $R^2$ ) som er under 0,3. I simuleringerne med NLES3 ses ret høje afvigelser (outliers) med høje modelestimerede afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer, hvor de målte er lave. Disse eksempler er fra år, med meget lav perkolation og derfor blev den målte udvaskning i kg N/ha også lille.



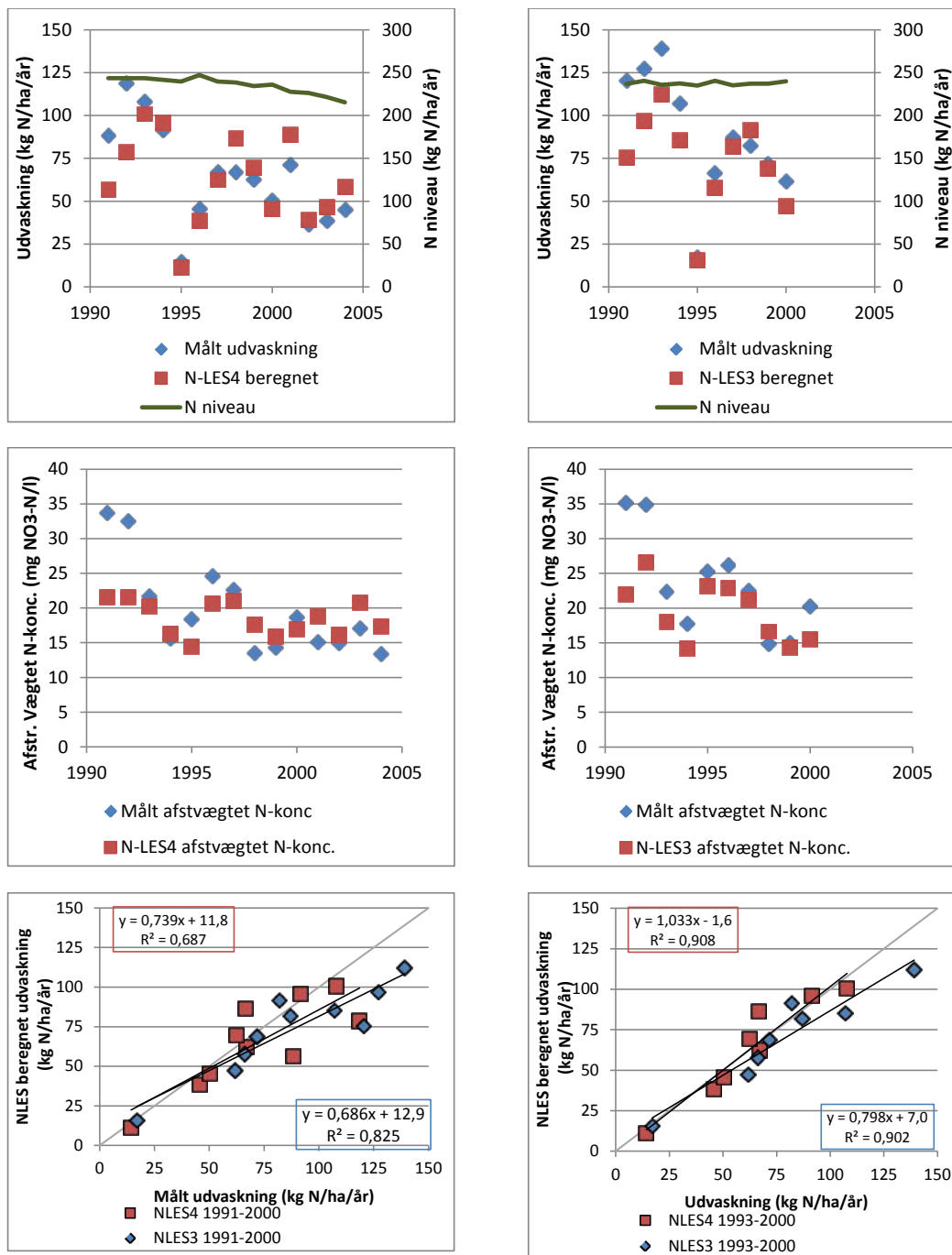
Figur 2. Sammenhæng mellem målt og NLES4 (tv) og NLES3 (th) beregnet afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer (mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/l) for marker med jordvandsstationer (n=29) i Landovervågningen. NLES3 dækker data for perioden 1991-2000 og NLES4 for perioden 1991-2004. Marker med brak er ikke med.

Her er der altså tale om tilfælde, hvor modellen reelt har svært ved at beregne disse lave og ekstreme udvaskningsniveauer. Grunden til at nogle af de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer er højere i NLES4 end i NLES3 er, at perkolationen er lavere, når den beregnes med Daisy, end da den blev beregnet med EVACROP i inputdata til NLES3.

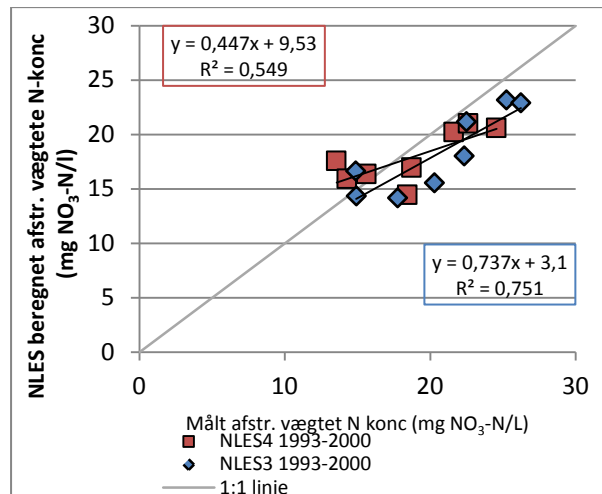
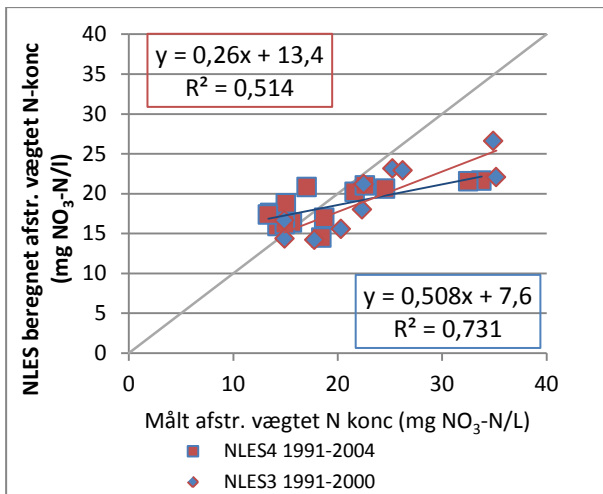
Opgøres data for de 29 jordvandsstationer som et gennemsnit for hvert enkelt år, er det muligt at se, om de to modeller nogenlunde rammer den tidlige udvikling i den gennemsnitlige målte nitratudvaskning og de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer. Data er afgrænset, så sammenstillingen viser, hvor godt de to modeller rammer de målte LOOP-data, som har været en del af datagrundlaget i modelopsætningen.

Dette er vist for den målte periode 1991-2004 for NLES4 og 1991-2000 for NLES3 i Figur 3 (øverst). Udvikling i gødningsinput er opgjort som et kvælstofniveau og udgør det gennemsnitlige input af kvælstof med gødning og fiksering for de foregående 5 år (vist som den mørkegrønne linje øverst i Figur 3). Af figuren ses, at hverken NLES4 og NLES3 kan simulere de høje udvaskningsniveauer i 1991 og 1992. Samme billede ses for de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i 1991 og 1992 (Figur 3 midt). De to modeller, NLES3 og NLES4, er i stand til at eftervise trend i den årlige målte udvaskning for den periode, de er sat op på, med en god relation,  $R^2$  er ca. 0,90 (Figur 3 nederst), når de to første år 1991 og 1992 med meget høje målte udvaskning ikke indgår i analysen.

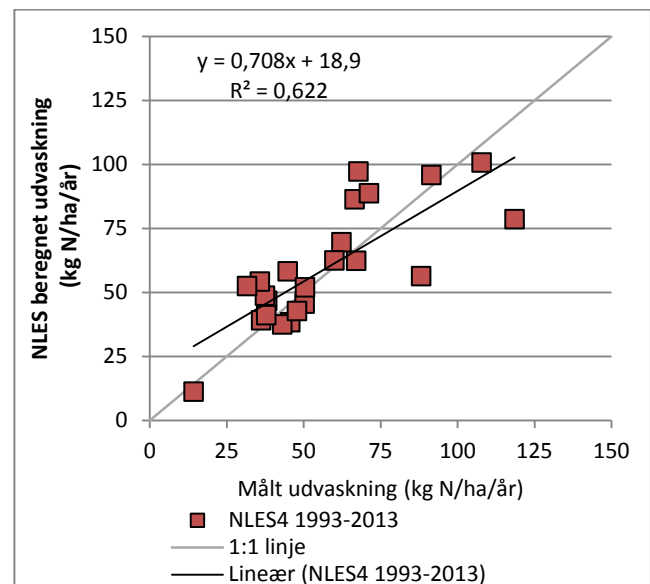
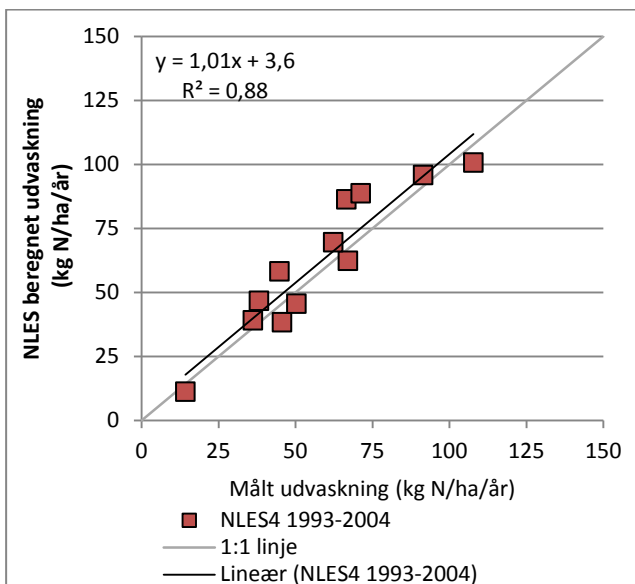
Sammenhængen i de årlige målte og modelberegnete afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer er ikke tilsvarende god (Figur 4), formentlig fordi de to NLES-modeller primært er kalibreret på årlig udvaskning i kg N/ha og ikke i forhold til den afstrømningsvægtede nitratkoncentration. I Figur 5 (tv) vises sammenhæng mellem den målte og NLES4 beregnede udvaskning for hele den periode, denne model er opsat på. Også for denne periode ses en fin relation ( $R^2 = 0,88$ ) og hældning på 1,01, mens sammenhæng og hældning er knap så pæn,  $R^2 = 0,62$  og hældning udgør 0,71, når perioden også inddrager perioden efter, her frem til 2013. Dette kan skyldes, at nye virkemidler, såsom sen jordbearbejdning og sen ompløjning af græs er introduceret efter modellernes udvikling. Det er således ikke forventeligt, at en model kan eftervise effekter af en landbrugspraksis, som ikke indgår i det datasæt, som den pågældende model er udviklet på. Dette viser som nævnt i introduktionen af de empiriske NLES modeller, at modellerne er bedst egnede for den periode, modellens inputdata er funderet på.



Figur 3. Øverst: Den gennemsnitlige årlige målte og NLES4 (1991-2004)(tv)/NLES3 (1991-2000)(th) udvaskning for 29 jordvandsstationer. Desuden kvælstofniveau for kvælstof er grøn linje (øverst). Hver markør er et gennemsnit af 29 jordvandsstationer et enkelt år. Midt: Samme princip for den målte afstrømningsvægtede nitratkoncentration og NLES4 (tv)/NLES3(th). Nederst: Sammenhæng mellem målt og NLES3/NLES4 beregnet udvaskning for perioden 1991-2000 (tv). Samme sammenhæng uden de to første år 1991 og 1992, hvor der er målt meget høj udvaskning (th).



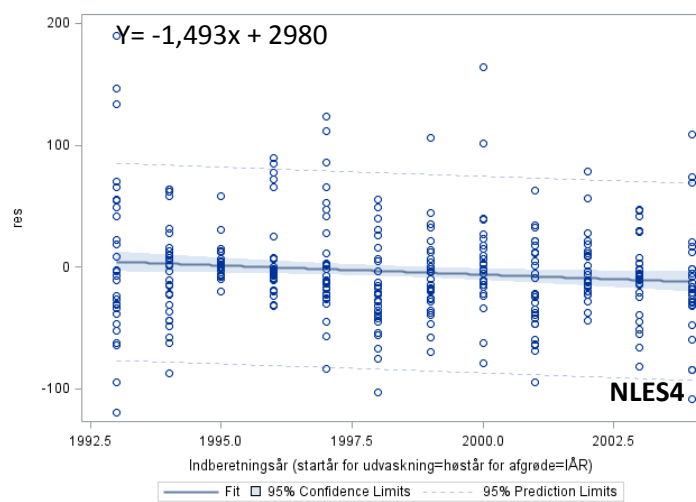
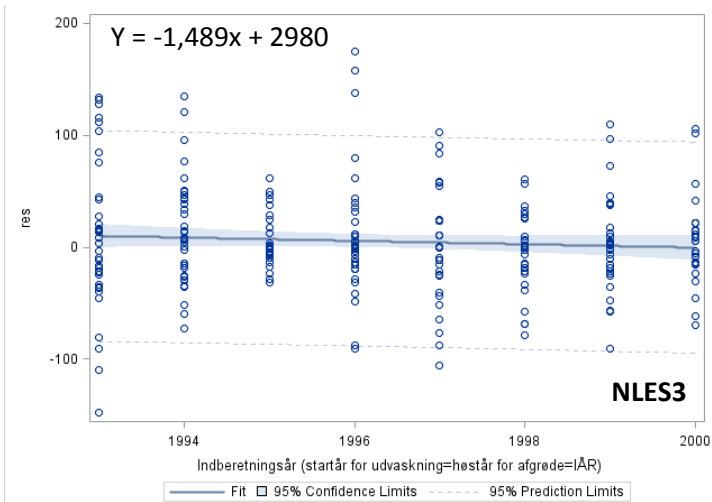
Figur 4. Sammenhæng mellem den gennemsnitlige årlige målte og NLES4 (rød)/NLES3 (blå) afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for perioden 1991-2000 (tv) og samme sammenhæng for perioden 1993-2000.



Figur 5. Sammenhæng mellem den gennemsnitlige årlige målte og NLES4 beregnet udvaskning uden de to første år 1991 og 1992 med høj målt nitratudvaskning, perioden 1993-2004 (tv), perioden 1993-2013 (th).

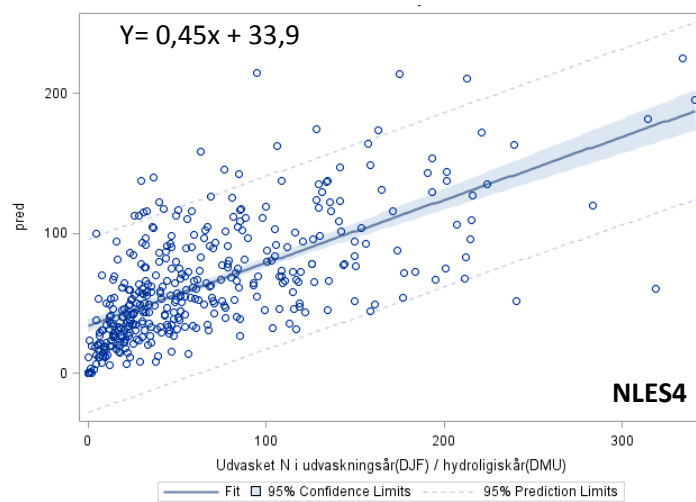
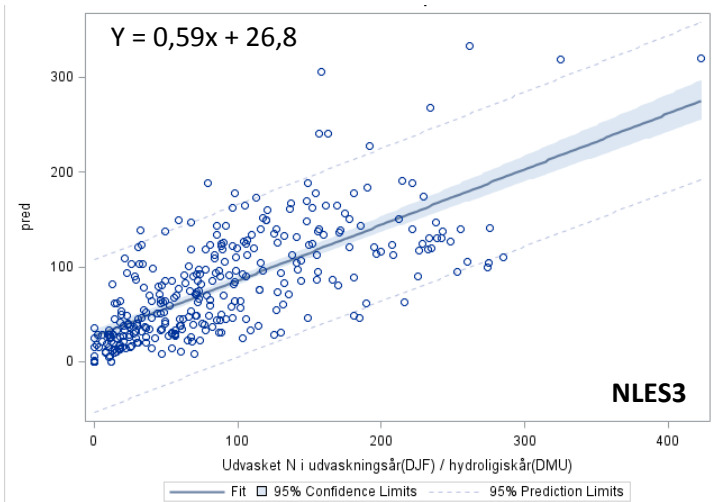
Yderligere ses, at de to modeller kan beregne udvaskning og den afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for perioden efter 1993 og frem til slutåret for de data der indgår i modellen, da der for begge modeller ikke ses nogen trend i residualer, opgjort som forskellen mellem målt og modelberegnet for hver observation (Figur 6).





Figur 6. Residualplot for afvigelsen mellem målte og prædikterede værdier af udvaskning (kg/N/ha/år) for NLES3 og NLES4 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1993-2003) og NLES4 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1993-2004).

Begge modeller har en tendens til at prædiktere for højt, når de målte udvaskninger er lave, mens udvaskning prædiktes for lavt ved høje målte observationer (Figur 7). Denne tendens er almindeligt kendt for empiriske modeller. Tendensen er mest udpræget for NLES4.



Figur 7. Sammenhæng mellem målte (x-akse) og prædikterede (y-akse) værdier af udvaskning (kg/N/ha/år) for NLES3 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1991-2000) og NLES4 (data fra 29 jordvandsstationer i perioden 1991-2004).

Det konkluderes, at begge modeller viser relativ god overensstemmelse med målinger i LOOP-området men prædikterer for høj udvaskning, når de målte udvaskninger er lave og prædikterer for lav udvaskning ved høje målte observationer. Hvor det er muligt at sammenligne de to modeller, viser NLES3 generelt

højere marginaludvaskning end NLES4 ved den pågældende landbrugspraksis. Det har ikke været muligt at foretage NLES3 beregninger ved den nuværende landbrugspraksis.

## Referencer

- Blicher-Mathiesen, G., Grant, R., Jørgensen, U., Poulsen, H.D., 2003. Vandmiljøplan II – Slutevaluering af de enkelte virkemidler. Status 2002, prognose for 2003. Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II – slutevaluering. Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 35 pp.  
[http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMP/II/Slutevaluering\\_af\\_de\\_enkelte\\_virkemidler.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMP/II/Slutevaluering_af_de_enkelte_virkemidler.pdf)
- Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L., 2015. Landovervågningsoplade 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 158 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 120. <http://dce2.au.dk/pub/SR120.pdf>
- Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K., 2013. Udvikling i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, DCA Rapport nr. 31, 154 pp.  
<http://pure.au.dk/portal/files/68362856/dcarapporten31.pdf>
- Grant, R., 2002. Landovervågning: Opskalering af modelberegnet kvælstofudvaskning til hele landet. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser. 3 pp.
- Grant, R., 2002. Genberegning af effekten af Vandmiljøplan I og II. Notat fra Danmarks Miljøundersøgelser. 15 pp.
- Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Jørgensen, V., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D., Børsting, C., Jørgensen, J.O., Schou, J.S., Kristensen, E.S., Waagepetersen, J., Mikkelsen, H.E., 2000. Vandmiljøplan II – midtvejsevaluering. Miljø- og Energiministeriet & Danmarks Miljøundersøgelser. 65 pp.  
[http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMP/II/midtvejs\\_web.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMP/II/midtvejs_web.pdf)
- Grant, R. og Waagepetersen, J. (2003): Vandmiljøplan II - slutevaluering, Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks JordbrugsForskning. 32 pp. [www.dmu.dk-publikation-ovrigepublikationer](http://www.dmu.dk-publikation-ovrigepublikationer).
- Iversen, T.M., Grant, R., Blicher-Mathiesen, G., Andersen, H.E., Skop, E., Jensen, J.J., Hasler, B., Andersen, J., Hoffmann, C.C., Kronvang, B., Mikkelsen, H.E., Waagepetersen, J., Kyllingsbæk, A., Poulsen, H.D., Kristensen, V.F., 1998. Vandmiljøplan II – faglig vurdering. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser. 44 pp.
- Kristensen, K., 2002. N-LES2. Kort notat om genberegning af N -LES (givet som en modificering af tidligere beskrivelse efterfulgt af ændringer og kommentarer). 11 pp.
- Kristensen, K., Jørgensen, U., Grant, R., 2003. Genberegning af modellen N-LES. Baggrundsnotat til Vandmiljøplan II - slutevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet. 12 pp.  
[http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMP/II/Genberegning\\_af\\_modellen\\_NLES.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMP/II/Genberegning_af_modellen_NLES.pdf)
- 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. DJF Plant Science 139. 25 pp.

- Larsen, S., Kristensen, K., 2007. Udvaskningsmodellen N-LES3 – usikkerhed og validering. Aarhus Universitet, DJF rapport, Markbrug 132.
- Olesen, J.E., Heidmann, T., 2002. EVACROP. Et program til beregning af aktuel fordampning og afstrømning fra rodzonen. Forskningscenter Foulum. 51 pp.
- Petersen, J., Djurhuus, J., 2004. Sammenhæng mellem tilførsel, udvaskning og optagelse af kvælstof i handelsgødde, kornrige sædskifter. DJF rapport, Markbrug nr. 102.
- Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Blicher-Mathiesen, G., Kern-Hansen, C., 2002. Vandbalance på mark- og oplandsskala. DJF rapport, Markbrug 70, 45 sider.
- Refsgaard J. C., Stisen, S., Højberg, A.L., Olsen, M., Henriksen, H.J., Børgesen, C.D., Vejen, F., Kern-Hansen, C., Blicher-Mathiesen, G., 2011. Vandbalance i Danmark. Vejledning i opgørelse af vandbalance ud fra hydrologiske data for perioden 1990-2010. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2011/77.
- Simmelsgaard, S.E., 1991. Estimering af funktioner for kvælstofudvaskning. I Rude, S, (red.). Kvælstofgødning i landbruget – behov og udvaskning nu og i fremtiden. Statens Jordbrugsøkonomiske Institut. Rapport nr. 62.
- Simmelsgaard, S. E., 1998. The effect of crop, N -level, soil type and drainage on nitrate leaching as affected by crop type and long-term N fertilizer rate. Soil Use and Management, 14, 30-36.
- Simmelsgaard, S. E., Djurhuus, J., 1998. An empirical model for estimating nitrate leaching from Danish soil. Soil Use and Management, 14, 37-43.
- Simmelsgaard, S.E., Kristensen, K., Andersen, H.E., Grant, R., Jørgensen, J.O., Østergaard, H.S., 2000. Empirisk model til beregning af kvælstofudvaskning fra rodzonen. Danmarks Jordbrugsforskning. - DJF rapport Markbrug nr. 32. <http://pure.au.dk/portal/files/458538/djfm32.pdf>
- Waagepetersen, J., Grant, R., Børgesen, C.D., Iversen, T.M., 2008. Midtvejsevaluering af Vandmiljøplan III. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet og Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 36 pp. [http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/2617161/VMPIII\\_midtvejs\\_2008.pdf](http://pure.agrsci.dk:8080/fbspretrieve/2617161/VMPIII_midtvejs_2008.pdf) .