UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Københavns Universitet

Gridbaseret Udvaskningsmodel for Udvalgte Sædskifter (GUUS)

En simpel, kvadratisk udvaskningsmodel kalibreret til NLES4

Ørum, Jens Erik; Thomsen, Ingrid Kaag

Publication date:
2018

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Ørum, J. E., & Thomsen, I. K., (2018). *Gridbaseret Udvaskningsmodel for Udvalgte Sædskifter (GUUS): En simpel, kvadratisk udvaskningsmodel kalibreret til NLES4*, 23 s., IFRO Dokumentation Nr. 2017/4

Download date: 17. nov.. 2026

INSTITUT FOR FØDEVARE- OG RESSOURCEØKONOMI
KØBENHAVNS UNIVERSITET

IFRO Dokumentation

Gridbaseret Udvaskningsmodel for Udvalgte Sædskifter (GUUS)

En simpel, kvadratisk udvaskningsmodel kalibreret til NLES4

Jens Erik Ørum
Ingrid K. Thomsen

2017 / 4

IFRO Dokumentation 2017 / 4

Gridbaseret Udvaskningsmodel for Udvalgte Sædskifter (GUUS): En simpel, kvadratisk udvaskningsmodel kalibreret til NLES4

Jens Erik Ørum[1], Ingrid K. Thomsen[2]
[1]Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet,
[2]Institut for Agroøkologi (AGRO), Aarhus Universitet
Faglig kvalitetssikring af dokumentationen er foretaget af Jørgen Dejgård Jensen[1]og Elly Møller Hansen[2]

Dokumentationen er udarbejdet i henhold til aftalen mellem Institut for Fødevare- og ressourceøkonomi (IFRO) og Miljø- og Fødevareministeriet om forskningsbaseret myndighedsberedskab. Den beskriver udvaskningsmodellen GUUS, der aktuelt er benyttet i analyserne af omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord (IFRO Rapport 258) samt den seneste version af IFRO's sektorøkonomiske model for dansk landbrug (ESMERALDA).

Udgivet februar 2018

Se øvrige udgivelser i serien IFRO Dokumentation her:
http://www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/dokumentation/

Se øvrige myndighedsaftalte udredninger på www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/udredninger/

Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO)
Københavns Universitet
Rolighedsvej 25
1958 Frederiksberg
www.ifro.ku.dk

Udgivet i samarbejde med Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

KØBENHAVNS UNIVERSITET

AARHUS UNIVERSITET

Gridbaseret udvaskningsmodel for udvalgte sædskifter (GUUS)

- en simpel, kvadratisk udvaskningsmodel kalibreret til NLES4

Jens Erik Ørum[1]og Ingrid K. Thomsen[2]

[1]Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet,

[2]Institut for Agroøkologi (AGRO), Aarhus Universitet

31. januar 2018

Baggrund og introduktion

Nærværende notat dokumenterer den simple, kvadratiske og gridbaserede model for kvælstofudvaskning (GUUS). Modellen er benyttet i IFRO Rapport 258, Landbruget og vandområdeplanerne – omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord (Ørum et al., 2017) samt indarbejdet i den seneste version, ultimo 2017, af IFRO's sektorøkonomiske model for dansk landbrug (ESMERALDA) (Jensen, 2001). Med GUUS er det muligt at beregne kvælstofudvaskning for en given lokalitet (10 km x 10 km klimagrid), jordtype (ler- og sandjord), afgrødefølge og kvælstoftildeling, svarende til en klimanormaliseret (1990-2010) udvaskning beregnet med NLES4, der er en statistisk/empirisk baseret model til beregning af årlig kvælstofudvaskning fra rodzonen for dyrkede arealer (Kristensen et al., 2008).

Afgrøde- og gridparametre i GUUS er estimeret ved kalibrering til NLES4-beregninger gennemført i 2014 (Børgesen, 2014) og er tidligere beskrevet og anvendt til gridbaseret modellering af kvælstofudvaskning i Ørum (2015). GUUS er, som den tidligere funktion i Ørum (2015), baseret på gridbaserede værdier for perkolation og afstrømning samt jordbundsforhold (C/N og humus) af betydning for udvaskningen. Til forskel fra modellen anvendt i Ørum (2015) kan GUUS beregne kvælstofudvaskning for afgrøder tilført husdyrgødning, og GUUS er baseret på en kvadratisk udvaskningsfunktion.

Begrænsninger

NLES4 modellerer udvaskning på oplandsniveau, ikke for marker. NLES4-beregningerne er klimanormaliseret ved at gentage dyrkningen af et fast sædskifte med en fast strategi for tildeling af kvælstofgødning med 20 års variation i vejrforholdene. NLES4 er imidlertid ikke en dynamisk model, der beskriver udvikling i jordens C/N-forhold mv. over tid. Det betyder, at NLES4 ikke afspejler udvaskningen efter 20 års dyrkning og gødningsstrategi med en valgt afgrødefordeling og gødskning, men et fuldt gennemløb af en dyrkning under varierende vejrforhold. De samme begrænsninger gælder derfor også for GUUS.

Tidligere anvendt model

I udvaskningsmodellen beskrevet i Ørum (2015) indgik alene handelsgødning, og den originale NLES4-funktionsform og parameterisering var bibeholdt. Det betød, at nye afgrøder kunne tilføjes til modellen ved hjælp af tabelværdier fra NLES4-dokumentationen (Kristensen et al., 2008).

Til analyserne af udvaskningen i Norsminde Fjord oplandet (Ørum et al., 2017) var det nødvendigt at udbygge modellen i Ørum (2015), så der også kunne beregnes kvælstofudvaskning for afgrøder tilført husdyrgødning. I den forbindelse viste det sig, at funktionsformen $L = (T + (G + C + kx)^{1,5})/g$ anvendt i Ørum (2015) med fordel kunne erstattes af en kvadratisk funktionsform $L = p(S + C + k_c x)^2$, hvor x er tilført kvælstof, T og k er generelle parametre, C og k_c er afgrøde/sædskiftespecifikke parametre, mens G og S samt g og p er jordtypebestemte parametre knyttet til hhv. udvaskningspotentiale og perkolation i de enkelte klimagrids.

Med GUUS kan nye afgrøder og sædskifter ikke umiddelbart tilføjes på grundlag af NLES4-dokumentation. Udvaskningen fra yderligere afgrøder og sædskifter vil således skulle beregnes med NLES4 for en variation af grids for en 20-årig periode, før der kan estimeres supplerende udvaskningsparametre til GUUS. Alternativt kan parametre for andre afgrøder beregnes ved interpolation på de allerede beregnede afgrødeparametre.

Udvaskningsmodellen GUUS

I de følgende afsnit beskrives den valgte funktionsform for GUUS og datagrundlaget for estimering af modellens responsparametre. Der estimeres afgrødeparametre samt gridbaserede jordbunds- og klimaparametre for handelsgødede sædskifter, og der indarbejdes en metode til modelmæssig håndtering af eftervirkning af total N i jord og i husdyrgødning. Dernæst gives eksempler på udvaskning for en række sædskifter beregnet med GUUS og NLES4 (til sammenligning og kontrol) for Norsminde Fjord oplandet. Der anvises en metode til konstruktion af GUUS sædskifter på grundlag af gennemsnitlige arealanvendelser. Endeligt vises udvaskning og marginaludvaskning beregnet med GUUS for bl.a. vårbyg, vinterhvede og majs samt effekt af efterafgrøder og vedvarende græs for samtlige grids beregnet med hhv. GUUS og estimeret på baggrund af Virkemiddelkataloget (Eriksen et al., 2014).

Udvaskning fra rodzonen, L, beregnes med GUUS således:

1) $L = p_{g,j}\left(S_{g,j} + qA + C_i + k_{c_i}N\right)^2$

2) $S_{g,j} + qA + C_i + k_{c_i}N_u > 0$

$p_{g,j}$	Afstrømnings- og perkolationsfaktor (høj værdi angiver høj udvaskning)
$S_{g,j}$	Bidrag fra jordpulje (bestemmes af jordens C/N-forhold, humus mv.)
g	10 km x 10 km klimagridcelle (i alt 602)
i	Afgrøde (monokultur eller sædskifte)
j	Jordtype (sand (JB1-4) og ler (JB5-7))
q	Kvælstofbidrag fra tidligere udbragt husdyrgødning (kg N pr. DE pr. ha)
A	Tidligere udbragt DE pr. ha (DE pr. ha pr. år)
C_i	Afgrødeparameter (nul for vårbyg og negativ værdi, når kvælstof optages bedre end i vårbyg)
k_c	Afgrødebestemt udvaskningsfaktor (hvor meget tildelt kvælstof der udvaskes)
N	Tildelt, udnyttet kvælstof (kg N pr. ha)

3) $N = N_M + uN_{DE}$

N_M	Tildelt kvælstof fra handelsgødning (kg N pr. ha)
N_{DE}	Tildelt kvælstof fra husdyrgødning (total N) (kg N pr. ha)
u	Udnyttet andel af husdyrgødning

Hvis anvendelse af husdyrgødning ophører, kan der fortsat være en eftervirkning. Bidraget qA har derfor til formål at isolere virkningen af foregående års anvendelse af husdyrgødning fra den aktuelle tildeling af husdyrgødning.

Datagrundlag

Afgrøde- og gridparametre for GUUS er estimeret på grundlag af klimanormaliserede NLES4-beregninger gennemført af Aarhus Universitet (Børgesen, 2014). Der er benyttet samme opsætning af NLES4 som ved evalueringen af Grøn Vækst (Børgesen et al., 2013). Beregningerne er gennemført på DMI 10 km x 10 km gridniveau (i alt 609) med de jordtyper (sand- og lerjord), der findes i hver af gridcellerne. Modelberegningen er foretaget ved et "normalklima" for årene 1990-2009. Det vil sige, at der er gennemført en modelberegning for hvert af årene 1990-2009, hvorefter der er beregnet et års-gennemsnit for perioden.

NLES4-beregningerne er gennemført for 602 ud af i alt 609 10 km x 10 km DMI gridceller, med hver 90 sædskifter (id ss01-ss90 i oprindelig dataleverance) ved tildeling af hhv. 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 og 140 pct. af gældende gødningsnorm i 2012. De 90 sædskifter er fordelt på 15 typesædskifter, der er gentaget for sand- og lerjord, der hver især er gentaget for tre niveauer af tilført husdyrgødning. For sædskifter med salgsafgrøder er der ét sædskifte kun med handelsgødning og to sædskifter, hvor der indgår to niveauer svinegylle (fx 0,8 og 1,4 DE pr. ha) suppleret med en stigende mængde handelsgødning. For sædskifter med grovfoder er der benyttet tre niveauer kvæggylle (fx 0,6; 1,3 og 1,7 DE pr. ha) suppleret med stigende mængder handelsgødning.

C, k_c, p og S parametre for udvalgte afgrøder og grids

Parametrene C og k_c for fire udvalgte sædskifter udelukkende gødet med handelsgødning samt p og S parametre for hhv. ler og sandjord for hvert tiende grid er med Leveberg-Marquards metode (non-linear curve fitting) estimeret, så de giver den bedste forklaring af den tilsvarende kvælstofudvaskning beregnet med NLES4. De udvalgte sædskifter er kontinuert vårbyg (Vasa), vårbyg med efterafgrøde (VasE), vinterhvede (Visa) og vedvarende græs (Vvgr). De udvalgte grids dækker variationen for hele landet inklusiv Norsminde Fjord oplandet (grid 10345). Til normering af de estimerede værdier er det valgt, at den gennemsnitlige p faktor for ler- og sandjord i de 60 udvalgte grids, skal være 1, og det er valgt, at afgrødeparameteren for kontinuert vårbyg skal være nul ($C = 0$).

Tabel 1 viser de estimerede C og k_c parametre for de fire udvalgte sædskifter samt tilhørende standardafvigelse (kg N pr. ha) på kvælstofudvaskning beregnet med NLES4 og GUUS.

Tabel 1. Estimerede C og k_c parametre for de fire udvalgte sædskifter/afgrøder samt tilhørende variationskoefficient (CV) og standardafvigelse (σ, kg N udvasket fra rodzonen pr. ha) på udvaskning fra rodzonen beregnet med NLES4 og GUUS .

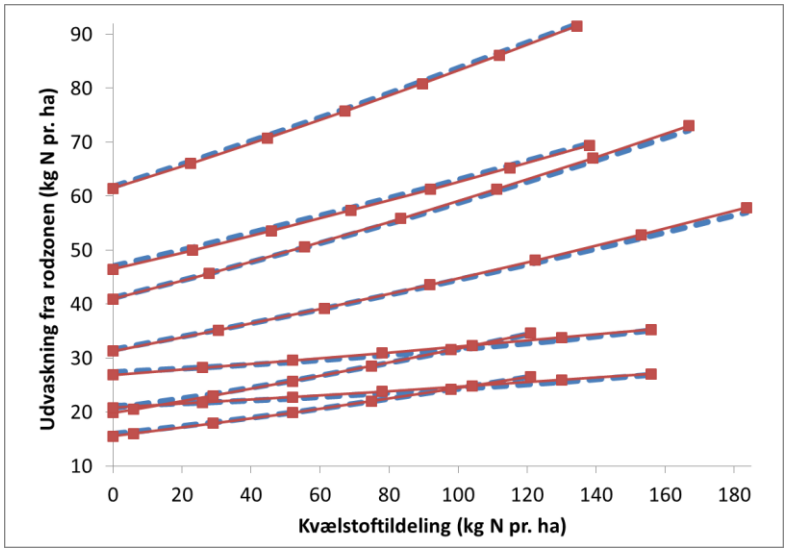
	C	*k*	*CV C*	*CV k*	*σ sand*	*σ ler*
VasE	-3,14	1,09%	*1,73%*	*1,75%*	*0,39*	*0,28*
Vasa	0,00	1,22%		*1,73%*	*0,49*	*0,48*
Visa	-1,32	1,20%	*1,74%*	*1,73%*	*0,66*	*0,64*
Vvgr	-2,47	0,46%	*1,73%*	*1,80%*	*0,54*	*0,40*

Tabel 2 viser gennemsnitlige udvaskningsparametre *p* og *S* estimeret på grundlag af NLES4 for 60 udvalgte grids samt Norsminde Fjord oplandet (grid 10345) med tillhørende variationskoefficienter (CV).

Tabel 2. Gennemsnitlige udvaskningsparametre p og S estimeret på grundlag af NLES4 for 60 udvalgte grids samt Norsminde Fjord oplandet (grid 10345) med tilhørende variationskoefficienter (CV).

	p	*S*	*CV p*	*CV S*
Gennemsnit 60 grids				
sand	1,15	7,48	*0,94%*	*0,45%*
ler	0,85	7,65	*0,78%*	*0,55%*
Norsminde (grid 10345)				
sand	1,14	7,32	*0,81%*	*0,40%*
ler	0,83	7,48	*0,94%*	*0,47%*

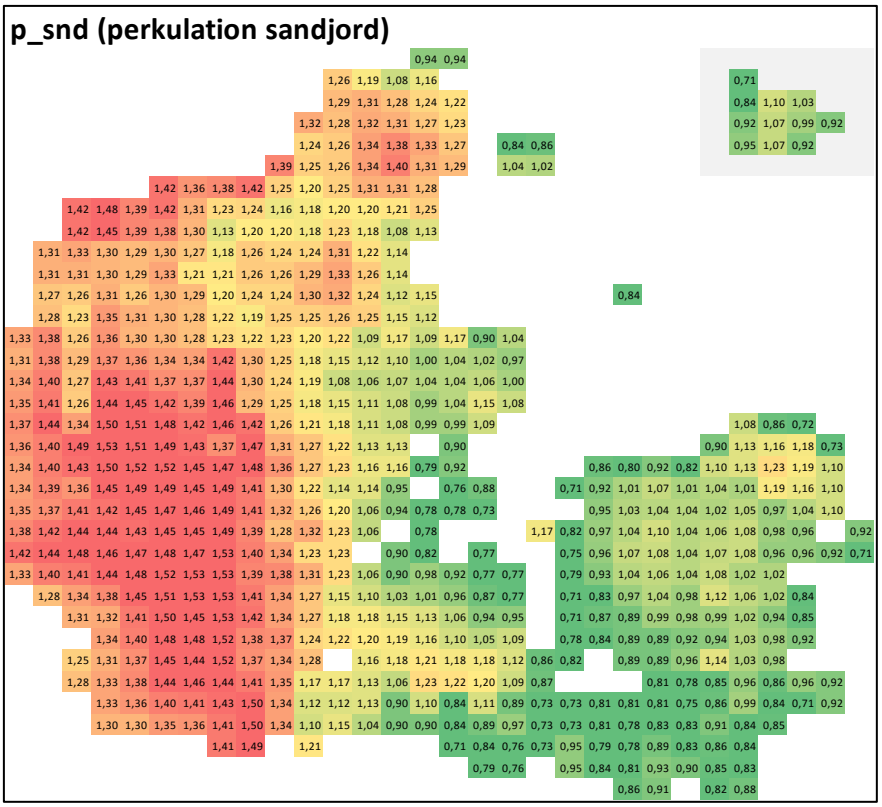
Figur 1 viser udvaskning for de fire udvalgte sædskifter på hhv. sand- og lerjord i Norsminde Fjord oplandet beregnet med hhv. GUUS og NLES4. På grund af høj forklaringsgrad er kurverne stort set sammenfaldende.



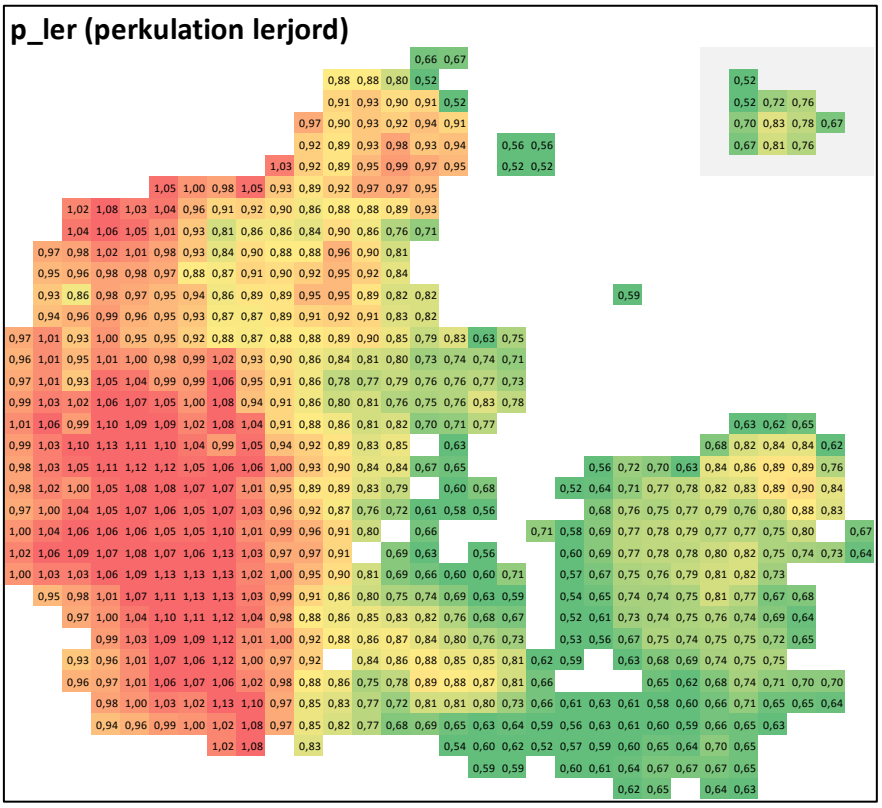
Figur 1. Kvælstofudvaskning beregnet med NLES4 (rød) og GUUS (stiplet, blå) for fire sædskifter på hhv. sand- og lerjord for Norsminde Fjord oplandet (10 km x 10 km grid 10345) ved stigende tildeling af handelsgødning.

p og S parametre for samtlige grids

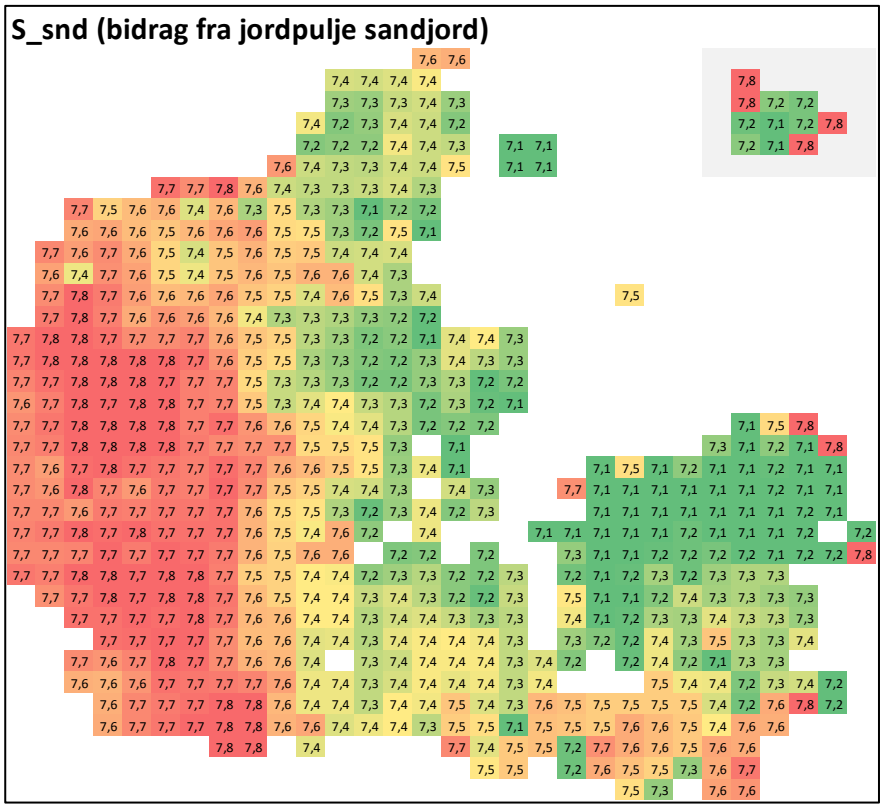
Parametrene p og S er estimeret for hhv. sand- og lerjord for samtlige grids (Figur 2-5) med de allerede bestemte C og k_c parametre for de fire afgrøder (Tabel 1), så p og S parametrene med mindste kvadraters metode giver den bedste forklaring af den med NLES4-beregnede kvælstofudvaskning. Som nævnt er p i gennemsnit 1 for alle grids og jordtyper.



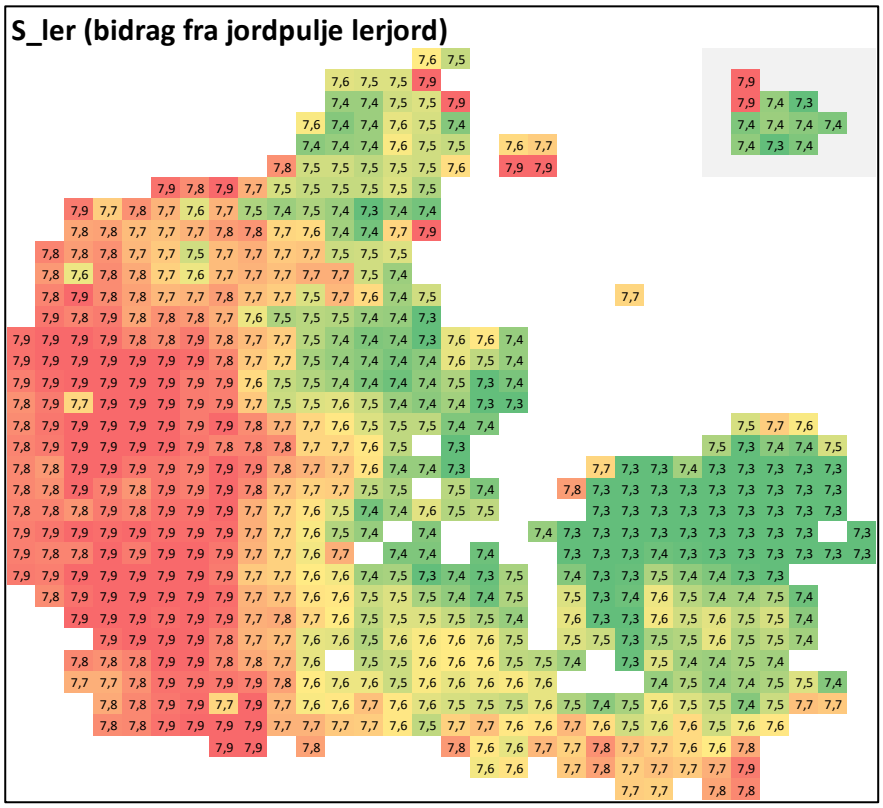
Figur 2. Estimerede p-parametre for sandjord i 10 km x 10 km grid. En høj p-værdi angiver en stor perkolation og afstrømning og dermed en potentielt større kvælstofudvaskning.



Figur 3. Estimerede p-parametre for lerjord i 10 km x 10 km grid. En høj p-værdi angiver en stor perkolation og afstrømning og dermed en potentielt større kvælstofudvaskning.



Figur 4. Estimerede S-parametre for sandjord i 10 km x 10 km grid. En høj S-værdi angiver et stort udvaskningspotentiale bestemt af jordens C/N-forhold og humusindhold.



Figur 5. Estimerede S-parametre for lerjord i 10 km x 10 km grid. En høj S-værdi angiver et stort udvaskningspotentiale bestemt af jordens C/N-forhold og humusindhold.

Husdyrgødning i GUUS

De grundlæggende udvaskningsparametre i GUUS er estimeret på grundlag af NLES4-beregnet udvaskning fra sædskifter alene gødet med handelsgødning. GUUS skal også kunne beskrive udvaskningen ved tildeling af husdyrgødning. I det følgende redegøres for, hvorledes anvendelsen af husdyrgødning er indpasset i modellen.

Ved anvendelse af husdyrgødning er det ikke al kvælstof, der umiddelbart er plantetilgængeligt. Der skelnes derfor ved anvendelse af husdyrgødning mellem total kvælstof og udnyttet kvælstof. De gældende regler for gødningstildeling (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016) giver mulighed for, at en del af det ikke-udnyttede kvælstof kan erstattes af handelsgødning. Ved en kvælstofnorm på fx 120 kg N pr. ha og tildeling af husdyrgødning fra 1 DE pr. ha svarende til 100 kg total N pr. ha, kan der, når det antages, at husdyrgødningen udnyttes 75 pct., suppleres med 45 kg handelsgødnings N pr. ha. Herved svarer det udnyttede kvælstof til en given norm eller kvote for handelsgødning, men derudover er der tildelt 25 kg ikke-udnyttet N pr. ha, der kan bevirke en øget udvaskning. Ved de bagvedliggende NLES4-beregninger er det antaget, at 75 pct. af det tildelte total N kan udnyttes.

Også med GUUS er det derfor antaget, at 75 pct. ($u = 0{,}75$) af husdyrgødningens total kvælstof (N_{DE}) indregnes i en given norm, og at der altid suppleres op med handelsgødning (N_M), så normen udnyttes. I stedet for at operere med både total og udnyttet kvælstof er det imidlertid ved anvendelsen af modellen valgt kun at operere med aktuelt udnyttet kvælstof, svarende til normen. Ved anvendelse af husdyrgødning tillægges et yderligere kvælstofinput, der ikke er bestemt af, hvor meget kvælstof, der aktuelt tildeles, men hvor meget husdyrgødning, angivet som DE pr. ha, der har været anvendt de tidligere år. Herved kan beregningen af N (ligning 3) omskrives og forenkles, så N altid er lig en given norm eller kvote (ligning 4). Det er således valgt at lade det ikke-udnyttede kvælstof indgå som et selvstændigt input (qA) ved beregning af udvaskningen (ligning 5). Det bemærkes, at udnyttelsesgrad (u) og total N derfor ikke indgår i den endelige ligning for udvaskningen.

4) $$N_M = N_{Kvote} - uN_{DE} \Rightarrow N = N_{kvote}$$

5) $$L = p_g\left(S_g + qA + C + k_c N_{kvote}\right)^2$$

Marginaludvaskning

På grundlag af (5) kan marginaludvaskningen $\frac{dL}{dN}$ beregnes således:

6) $$\frac{dL}{dN_{kvote}} = 2k_c p_g\left(S_g + qA + C + k_c N_{kvote}\right)$$

I Tabel 3 er der givet eksempler på udvaskning (ligning 5) og marginaludvaskning (ligning 6) for vintersæd i Norsminde Fjord oplandet.

Tabel 3. Eksempler på udvaskning og marginaludvaskning fra vintersæd og vårsæd i grid 10345.

	Sandjord		**Lerjord**	
Kvælstoftildeling (kg N pr. ha)	200	100	200	100
Vintersæd-vintersæd (Visa)				
Udvaskning fra rodzonen (kg N pr. ha)	81	59	61	45
Marginaludvaskning	23%	20%	17%	15%
Vårsæd-vårsæd (Vasa)				
Udvaskning fra rodzonen (kg N pr. ha)	109	83	81	63
Marginaludvaskning	27%	24%	20%	17%

Det er tydeligt, at jordtypen (via parametrene S_g og p_g i Ligning 5) har en meget stor indflydelse på såvel den totale udvaskning som marginaludvaskningen ved en given kvælstoftildeling. Således er det for vintersæd på lerjord ved tildeling på 200 kg N pr. ha beregnet en udvaskning fra rodzonen på 61 kg N pr. ha og en marginaludvaskning på 17 pct. (Tabel 3). Reduceres tildelingen til 100 kg N pr. ha, reduceres udvaskningen til 45 kg N pr. ha, og marginaludvaskningen reduceres til 15 pct. Til sammenligning er udvaskningen på sandjord ved samme kvælstoftildelinger 81 og 59 kg N pr. ha, mens marginaludvaskningen er 23 og 20 pct.

En god forklaringsgrad for Norsminde Fjord oplandet

Den valgte løsning med 100 pct. udnyttelse plus et selvstændigt input for eftervirkning af husdyrgødning (qDE) giver en god forklaringsgrad for de i alt 516 udvaskningsberegninger i Norsminde Fjord oplandet (grid 10345), hvor q er estimeret til 0,274 kg N pr. DE. Ved sammenligning af udvaskningsberegninger med hhv. NLES4 og GUUS er der beregnet en standardafvigelse på mindre end 0,6 kg N pr. ha. Den høje forklaringsgrad er kun mulig, fordi NLES4-udvaskningen er modelberegnet. Den reelle forklaringsgrad ved sammenligning af en observeret udvaskning og en NLES4-beregnet udvaskning må forventes at være væsentlig lavere, men fremgår ikke umiddelbart af Kristensen et al. (2008).

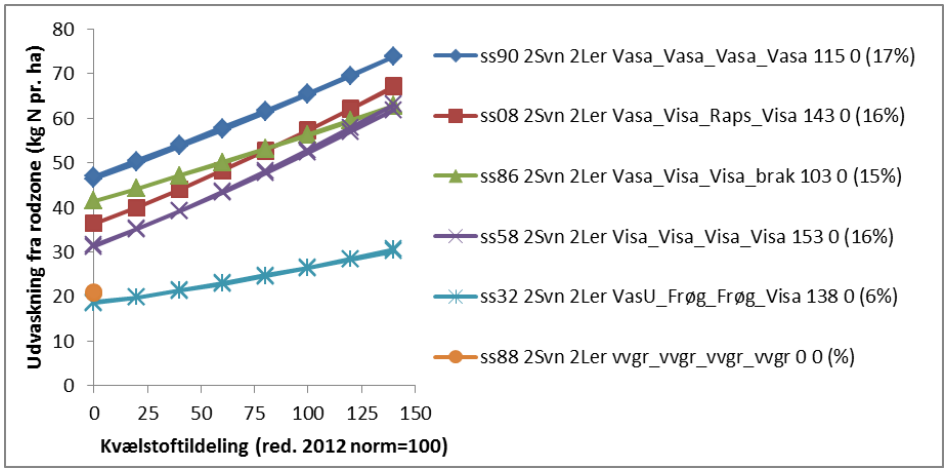
Den valgte udgave af GUUS har også, med godt resultat, været afprøvet for andre grids. GUUS kan udbygges til at kunne skelne mellem husdyrgødning fra svin og kvæg, hvor parameteren q opdeles i q_{svin} og $q_{kvæg}$ mv.

I det følgende vises udvaskningen beregnet med GUUS for 24 af de 90 sædskifter i Norsminde Fjord oplandet, og udvaskningen sammenlignes med de tilsvarende NLES4-beregninger. Den med GUUS beregnede udvaskning er baseret på p og S parametre, der gælder for det aktuelle grid (Tabel 2) samt de generelle, sædskifterelaterede parametre C og k_c der er vist i Tabel 4 for 15 sædskifter.

Tabel 4. Generelle C og k_c parametre for 15 sædskifter. VasE og Vasa samt VisE og Visa er hhv. vårsæd og vintersæd med og uden efterafgrøde. Brak, Raps, Kart, Sroe, Frøg, Klgr, Vvgr er hhv. brak, vinterraps, kartofler, sukkerroer, frøgræs, kløvergræs og vedvarende græs. VasU er vårsæd med udlæg.

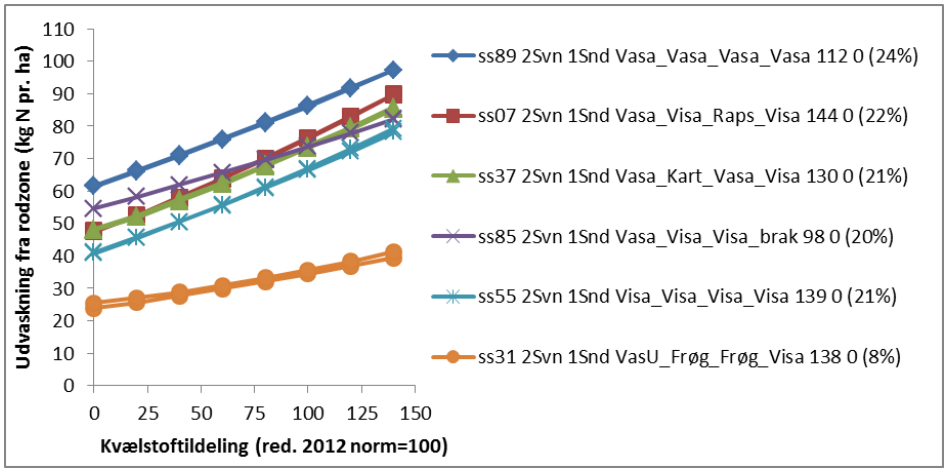
Sædskifte	C	k_c
Majs_Majs_Majs_Majs	0,84	1,18%
Vasa_Vasa_Vasa_Vasa	0,00	1,20%
Vasa_Visa_Visa_Brak	-0,41	1,13%
Vasa_Kart_Vasa_Visa	-0,82	1,17%
Vasa_Visa_Raps_Visa	-0,86	1,17%
Vasa_Visa_Visa_Sroe	-1,25	1,17%
Visa_Visa_Visa_Visa	-1,34	1,20%
Vasa_Visa_Raps_VisE	-1,41	1,13%
Visa_Visa_VisE_Vasa	-1,51	1,12%
VisE_Vasa_VisE_Vasa	-1,66	1,11%
VasU_Klgr_Klgr_Majs	-1,64	0,65%
VasE_VasE_VasE_VasE	-3,15	1,10%
Vvgr_Vvgr_Vvgr_Vvgr	-2,47	0,45%
VasU_Frøg_Frøg_Visa	-2,73	0,66%
VasU_Klgr_Klgr_Klgr	-3,23	0,68%

Figur 6, 7, 8 og 9 viser GUUS-beregnet kvælstofudvaskning fra rodzonen ved øget tildeling af kvælstof for udvalgte sædskifter i Norsminde Fjord oplandet (grid 10345). Kvælstoftildeling er angivet relativt til den reducerede gødningsnorm, der var gældende i 2012. Udvaskning beregnet med hhv. NLES4 og GUUS er vist med samme signatur og farve. På grund af en meget høj forklaringsgrad, er kurverne stort set sammenfaldende. Bemærk, at det kun er tildeling af handelsgødning, der øges i de enkelte kurveforløb. Husdyrgødningsdelen er fastholdt, svarende til, at bedriften har en given mængde husdyrgødning til rådighed, der skal anvendes, før der eventuelt suppleres med handelsgødning. Det skal også bemærkes, at de viste tildelinger er gennemsnit for sædskifterne. Handels- og husdyrgødning kan fordeles meget forskelligt til de enkelte afgrøder i et sædskifte. Sædskifterne er identificeret ved en kode (ss01-ss90), der ikke yderligere forklares i nærværende notat, men er bibeholdt af kvalitetssikringshensyn og mulig reproduktion.

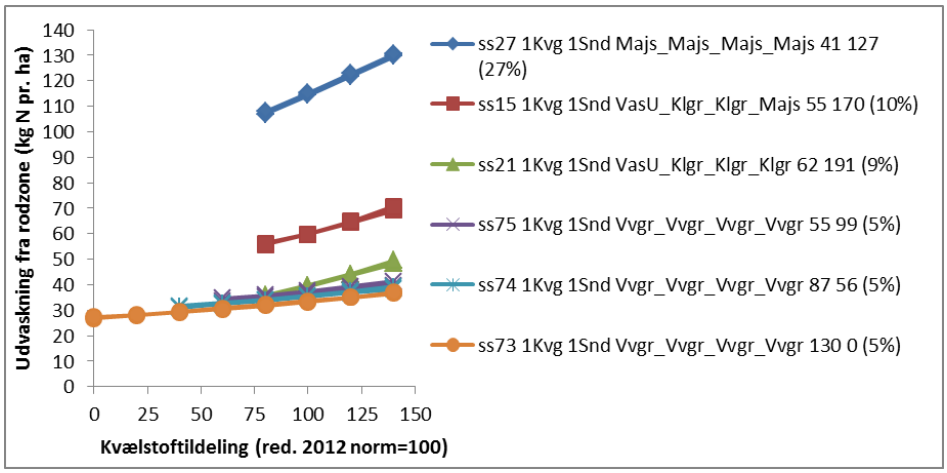


Figur 6. Kvælstofudvaskning fra rodzonen beregnet med NLES4 og GUUS (sammenfaldende) ved øget tildeling af kvælstof for udvalgte, primært salgsafgrødesædskifter på lerjord. Kvælstoftildeling er angivet relativt til den gennemsnitlige, reducerede gødningsnorm for 2012. Sædskifterne er identificeret med sædskiftenummer, husdyrtype (Svn: Svin), jordtype og afgrøderækkefølge samt handelsgødning (kg N pr. ha)

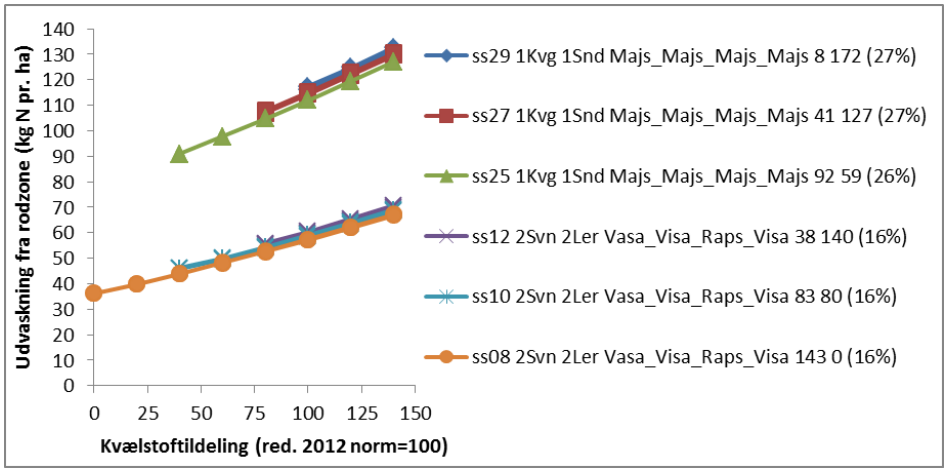
og husdyrgødning (kg total N pr. ha). I parentes marginaludvaskning angivet for det aktuelle sædskifte tilført kvælstofnormen for 2012.



Figur 7. Kvælstofudvaskning fra rodzonen beregnet med NLES4 og GUUS (sammenfaldende) ved øget tildeling af kvælstof for udvalgte, primært salgsafgrødesædskifter på sandjord. Kvælstoftildeling er angivet relativt til reduceret gødningsnorm for 2012. Sædskifterne er identificeret med sædskiftenummer, husdyrtype (Svn: Svin), jordtype og afgrøderækkefølge samt handelsgødning (kg N pr. ha) og husdyrgødning (kg total N pr. ha). I parentes marginaludvaskning angivet for det aktuelle sædskifte tilført kvælstofnormen for 2012.



Figur 8. Kvælstofudvaskning fra rodzonen beregnet med NLES4 og GUUS (sammenfaldende) ved øget tildeling af kvælstof for udvalgte sædskifter, primært grovfoder, på sandjord. Bemærk, at husdyrgødningsandelen er uændret i de enkelte sædskifter. Kvælstoftildeling er angivet relativt til reduceret gødningsnorm for 2012. Sædskifterne er identificeret med sædskiftenummer, husdyrtype (Kvg: kvæg), jordtype og afgrøderækkefølge samt handelsgødning (kg N pr. ha) og husdyrgødning (kg total N pr. ha). I parentes marginaludvaskning. Kvælstoftildeling og marginaludvaskning er angivet for det aktuelle sædskifte tilført kvælstofnormen for 2012. I sædskifter med husdyrgødning kan den samlede tildeling ikke reduceres til 0 kg.



Figur 9. Kvælstofudvaskning fra rodzonen beregnet med NLES4 og GUUS (sammenfaldende) ved øget tildeling af kvælstof for majs på sandjord og et vintersæd/vinterraps sædskifte på lerjord ved forskellige niveauer af husdyrgødning. Bemærk, at husdyrgødningsdelen er uændret inden for hvert enkelt sædskifte. Kvælstoftildeling er angivet relativt til reduceret gødningsnorm for 2012. Sædskifterne er identificeret med sædskiftenummer, husdyrtype (Kvg: kvæg), jordtype og afgrøderækkefølge samt handelsgødning (kg N pr. ha) og husdyrgødning (kg total N pr. ha). I parentes marginaludvaskning angivet for det aktuelle sædskifte tilført kvælstofnormen for 2012. I sædskifter med husdyrgødning kan den samlede tildelingen ikke reduceres til 0 kg.

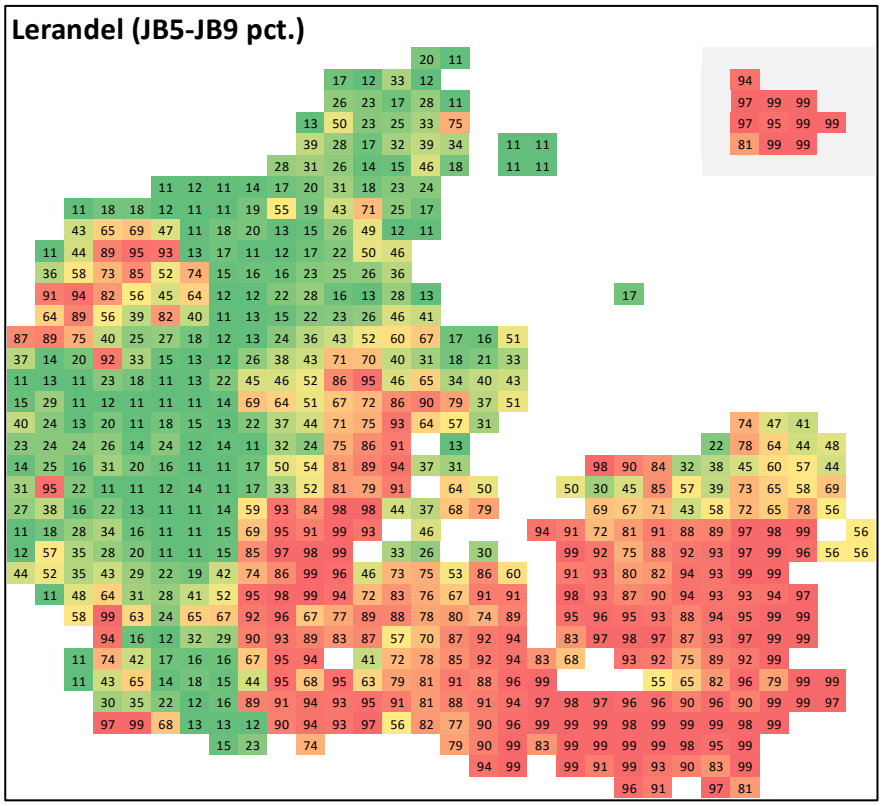
Hele sædskifter

Analyserne for Norsminde Fjord oplandet (Ørum et al., 2017) er baseret på en detaljeret beskrivelse af arealanvendelse og afgrøderækkefølge på hver enkelt mark i oplandet fra 2012/13 til 2015/16. Det ville være fristende at antage, at denne arealanvendelse er i ligevægt og beskriver et fuldt sædskifte. Det er imidlertid ikke altid/sjældent tilfældet. En arealanvendelse med fire år med kløvergræs er et eksempel på et sædskifte, der ikke er i ligevægt. Her vil det med mellemrum være nødvendigt med en omlægning med såning af et nyt udlæg. Det er også en udfordring, at der med NLES4 kun er beregnet udvaskning for 15 forskellige sædskifter, mens der for Norsminde Fjord oplandet, selv når der ikke tages hensyn til afgrøderækkefølgen, men kun afgrødeandele, er registreret mere end 54 forskellige "sædskifter" eller snarere afgrødekombinationer.

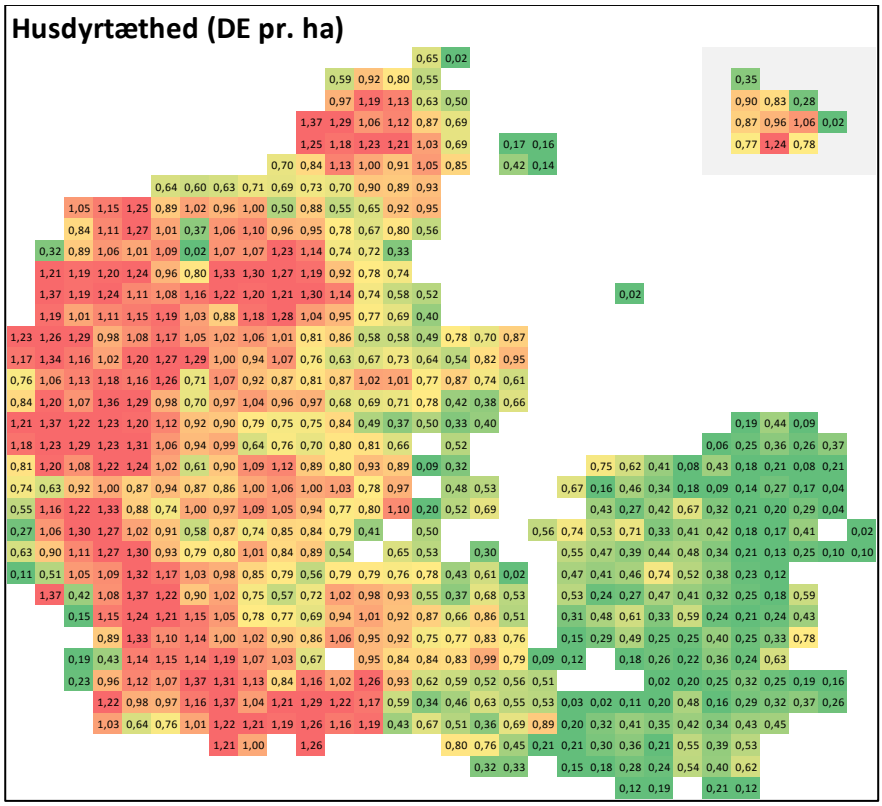
Til beregning af udvaskning for den enkelte mark, er markens arealanvendelse omsat til en lineær kombination (lineær programmering (LP)) af de 15 NLES4-sædskifter, så arealandelene, der altid summer til 1, bedst muligt beskriver den aktuelle afgrødesammensætning. De samme vægte er herefter benyttet til beregning af C og k_c parametre for "sædskifterne" i de enkelte marker. Med en arealanvendelse for fire år, vil arealandelene altid være 0, 25, 50, 75 eller 100 pct. Bilag 1 viser C og k_c parametre for alle 54 "sædskifter" i Norsminde Fjord oplandet, defineret ved afgrødeandele i de enkelte marker.

Kvælstofudvaskning for vinterhvede og vårbyg, hele landet

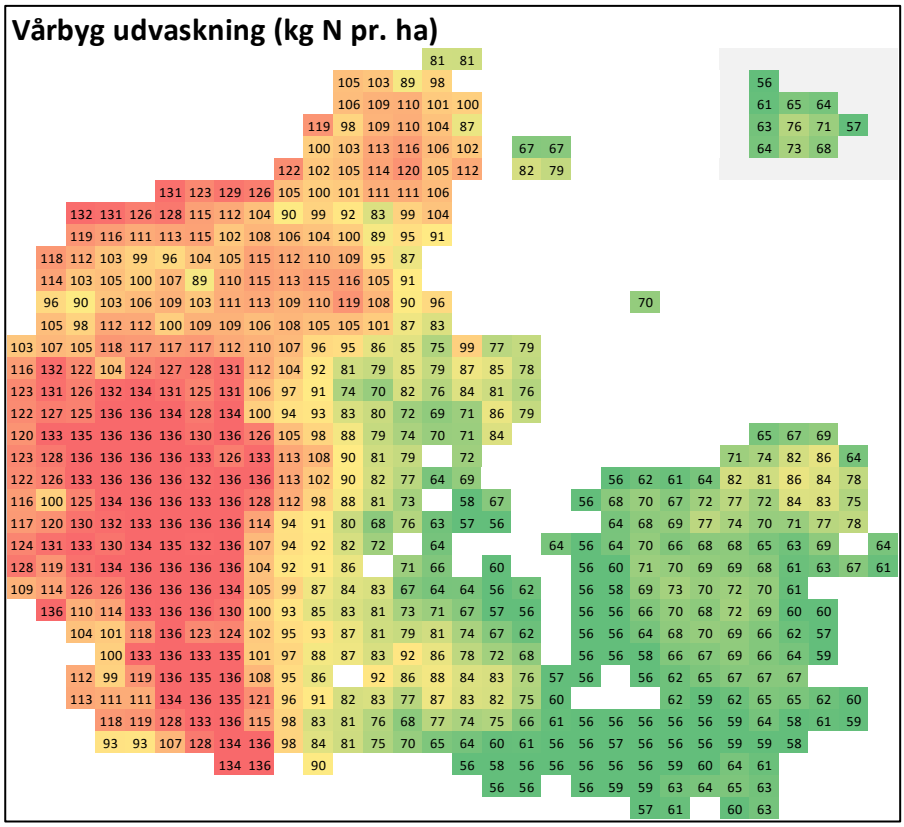
Figur 10 angiver andelen af lerjord (JB5-JB9) og Figur 11 dyretætheden inden for de enkelte grids. Den viste vægtning mellem ler og sand samt dyretæthed i de enkelte grids er benyttet til beregning af udvaskning (Figur 12 og 13) og marginaludvaskning (Figur 14 og 15) fra rodzonen for vårbyg og vinterhvede dyrket med tildeling af hhv. 150 og 200 kg N pr. ha i handelsgødning plus eftervirkning af husdyrgødning.



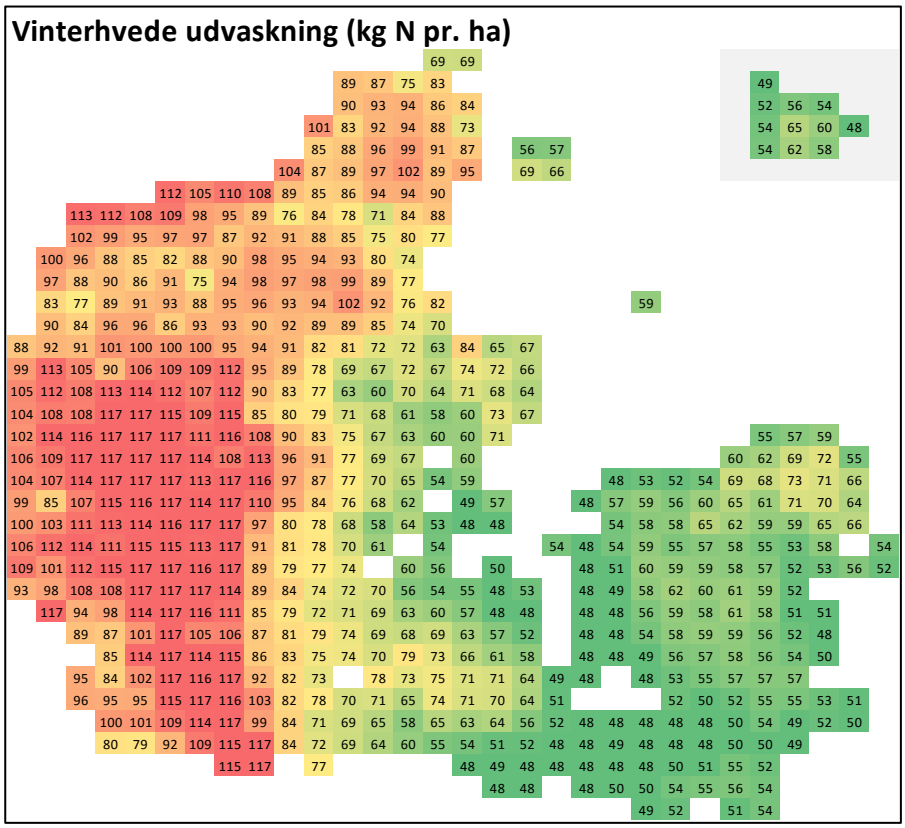
Figur 10. Andelen af lerjord (JB5-JB9) (pct.) benyttet ved beregning af kvælstofudvaskningen i de efterfølgende analyser.



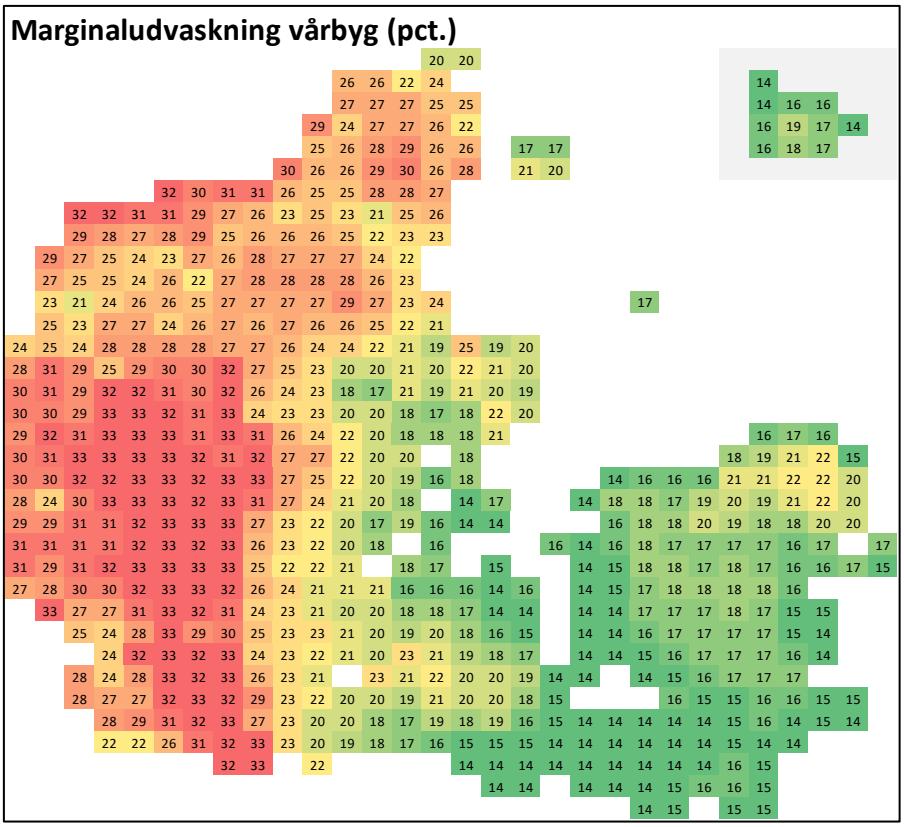
Figur 11. Husdyrtæthed (DE pr. ha) benyttet ved beregning af kvælstofudvaskning i de efterfølgende analyser.



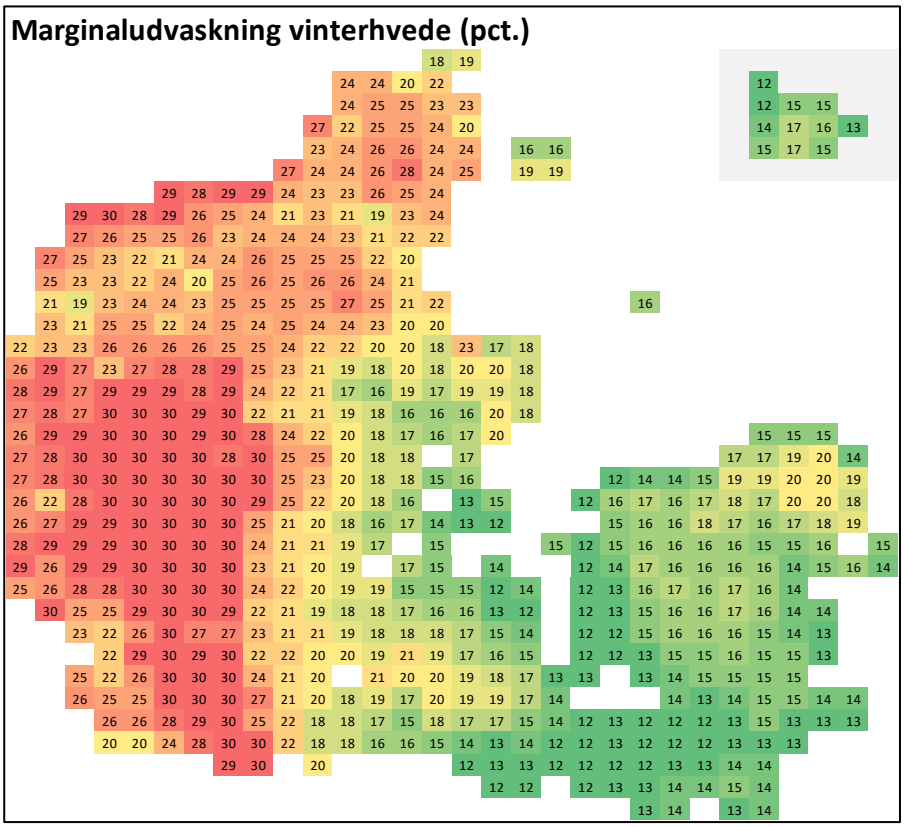
Figur 12. GUUS-beregnet udvaskning (kg N pr. ha fra rodzonen) for vårbyg ved tildeling af 150 kg N pr. ha.



Figur 13. GUUS-beregnet udvaskning (kg N pr. ha fra rodzonen) for vinterhvede ved tildeling af 200 kg N pr. ha.



Figur 14. GUUS-beregnet marginaludvaskning fra rodzonen for vårbyg ved tildeling af 150 kg N pr. ha.



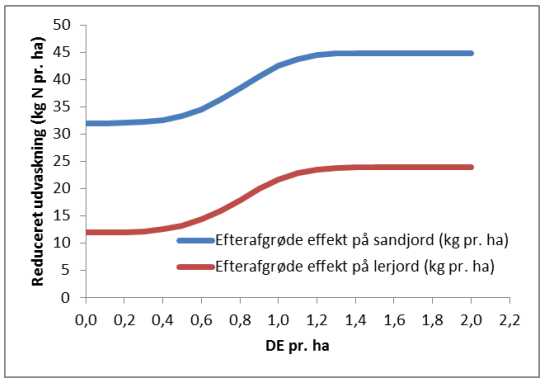
Figur 15. GUUS-beregnet marginaludvaskning fra rodzonen for vinterhvede ved tildeling af 200 kg N pr. ha.

Efterafgrøder

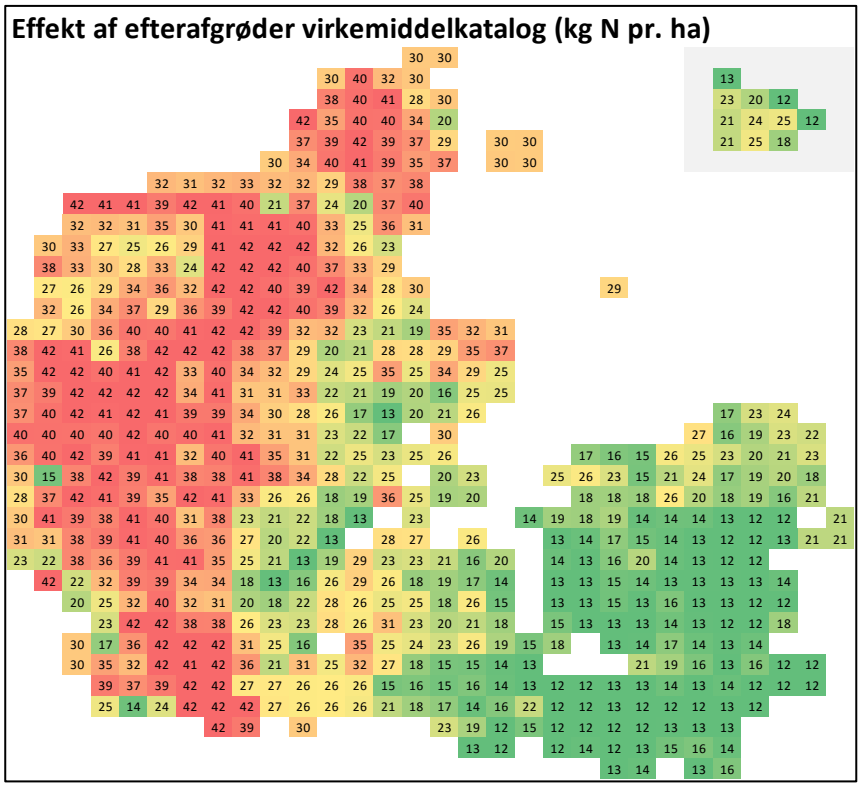
Den udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder i de i Ørum et al. (2017) gennemførte analyser for Norsminde Fjord oplandet er ikke modelberegnet, men er baseret på typetal fra Virkemiddelkataloget (Tabel 5). Disse typetal indebærer et skarpt trin ved en dyretæthed på 0,8 DE pr. ha, hvorfor effekten i Ørum et al. (2017) er opblødt med en sigmoidfunktion (Figur 16). Effekten af efterafgrøder beregnet med den sigmoide justering af typetallene i Virkemiddelkataloget fremgår af hhv. Figur 17. Figur 18 viser udvaskning fra rodzonen for vårbyg m. efterafgrøder fastsat med GUUS fratrukket opblødt effekt af efterafgrøder, mens Figur 19 viser GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for vårbyg m. efterafgrøder. Endelig viser Figur 20 den udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøde beregnet som difference mellem GUUS-beregnet udvaskning for vårbyg med og uden efterafgrøder ved samme kvælstoftildeling..

Tabel 5. Typetal for udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder (kg N pr. ha fra rodzonen) i Virkemiddelkataloget (Hansen og Thomsen, 2014).

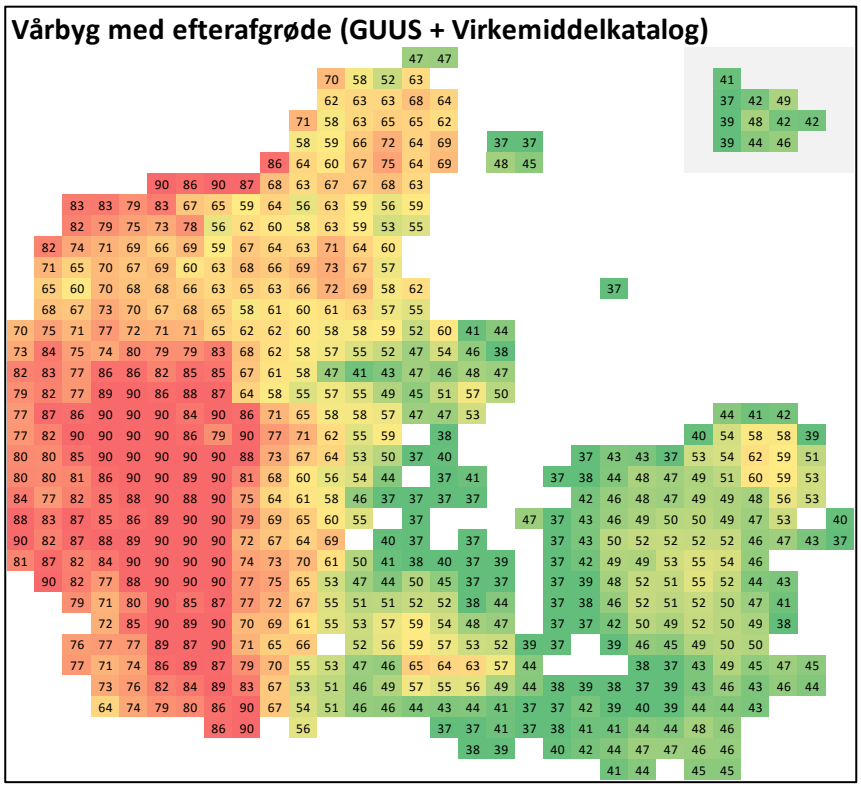
DE pr. ha	<0,8	>0,8
Sand	32	45
Ler	12	24



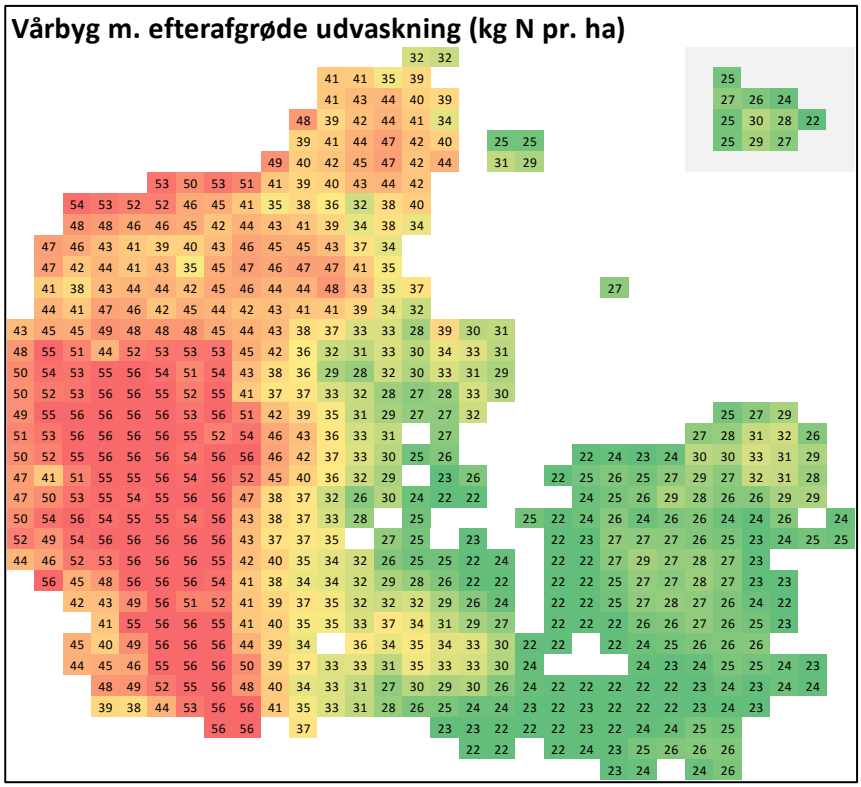
Figur 16. Udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder (kg N pr. ha fra rodzonen) ved anvendelse af efterafgrøde ved stigende husdyrintensitet (DE pr. ha) for sandjord og lerjord benyttet i Ørum et al. (2017).



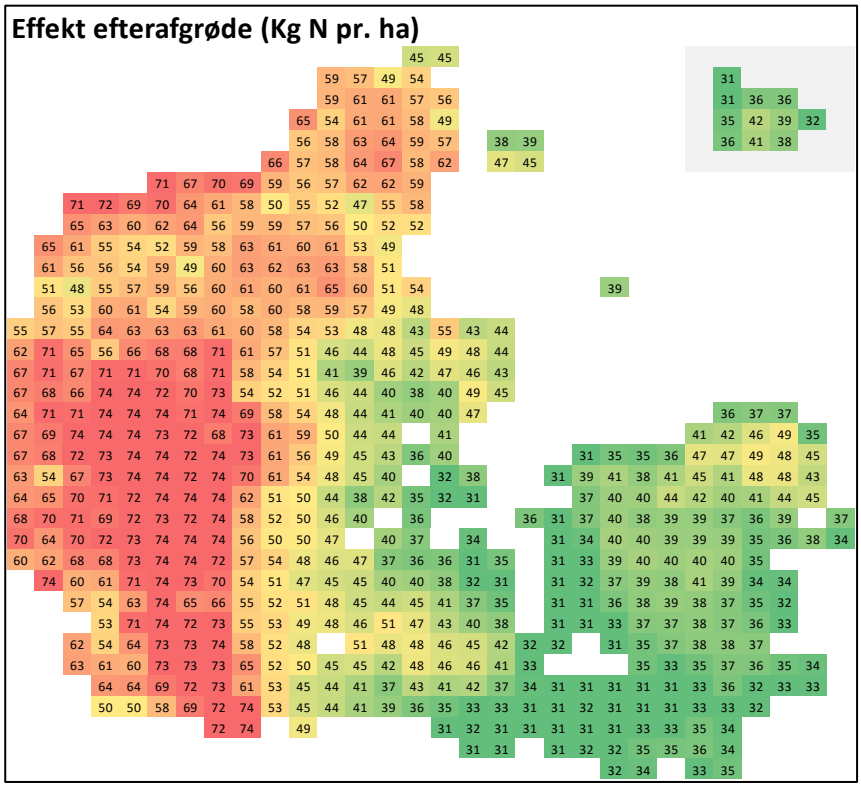
Figur 17. Udvaskningsreducerende effekt af efterafgrøder (kg N pr. ha fra rodzonen) med sigmoidt justerede typetal fra Virkemiddelkataloget (Figur 16) vægtet i forhold til ler og sand i de enkelte grids.



Figur 18. Udvaskning fra rodzonen for vårbyg m. efterafgrøder fastsat som GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for vårbyg uden efterafgrøde fratrukket opblødt effekt af efterafgrøder jf. Virkemiddelkataloget (Figur 16) ved tildeling af 130 kg N pr. ha.



Figur 19. GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for vårbyg m. efterafgrøder ved tildeling af 130 kg N pr. ha.



Figur 20. Udvaskningsreducerende effekt (kg N pr. ha) af efterafgrøde fra rodzonen beregnet som difference mellem GUUS beregnet udvaskning for vårbyg med og uden efterafgrøder ved samme kvælstoftildeling (130 kg N pr. ha).

Det fremgår tydeligt af ovenstående eksempler, at effekten af efterafgrøder bestemt på grundlag af Virkemiddelkataloget (Figur 17), som er benyttet i Ørum et al. (2017), afviger væsentligt fra de effekter, der kan beregnes med GUUS (Figur 20).

Eftervirkning, træghed og dynamiske effekter

I Ørum et al. (2017) er kvælstofudvaskningen fra rodzonen ved permanent udtagning - uanset jordtype og dyrkningshistorie – på baggrund af Blicher-Mathiesen et al. (2014) forudsat at falde til 12 kg N pr. ha. Det er, jf. Figur 6 (ss88, Vvgr) og 8 (ss73, Vvgr), mindst 10 kg N pr. ha mindre end udvaskningen fra ugødet, vedvarende græs beregnet med NLES4, som Olesen et al. (2014) dog bemærker ikke er udviklet til at belyse udvaskning fra brak. Det indikerer, at permanent udtagning, jf. Virkemiddelkataloget, er et meget kraftigt virkemiddel, men at det formentlig vil vare en del år, før den fulde effekt indtræder.

Når det gælder dynamiske effekter og tidshorisonter er der ikke fuld konsistens i analyserne for Norsminde Fjord oplandet gennemført i Ørum et al. (2017). Det er således valgt at indregne den fulde effekt af permanent udtagning fra dag ét. For eftervirkning af husdyrgødning er det derimod forsøgt at modellere en vis træghed. Eftervirkning af husdyrgødning fastholdes således på arealer, der tidligere har været gødet med husdyrgødning, uanset at der i fx et 2021-scenarie ikke tilføres husdyrgødning.

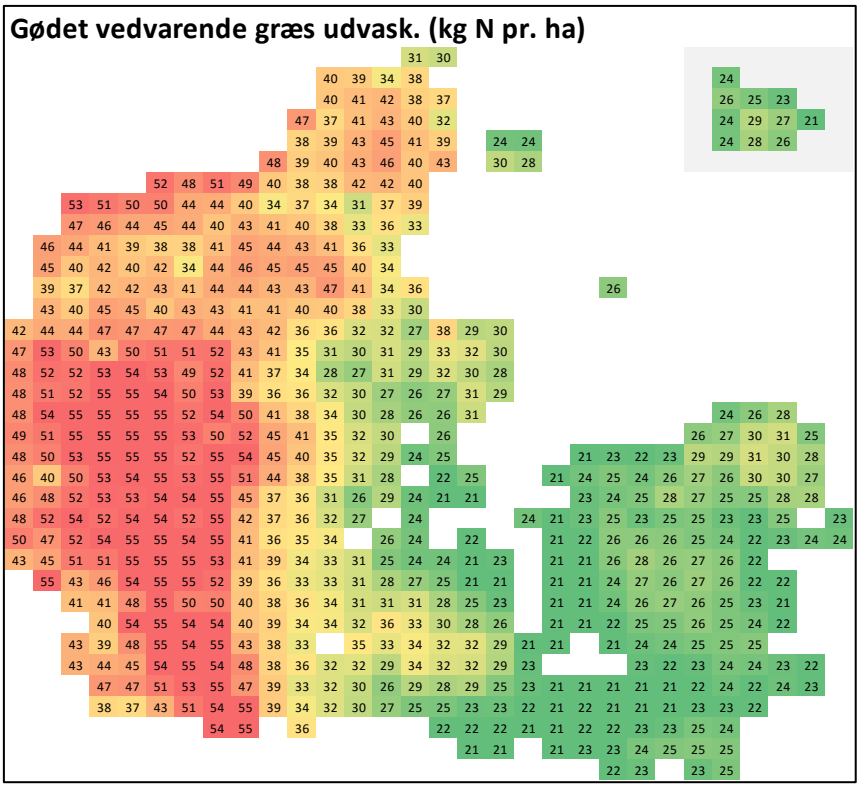
For afgrøder med stor kvælstofeftervirkning som fx kløvergræs og frøgræs er parameteren C opsplittet i en aktuel værdi (C_{akt}) og en historisk værdi (C_{hist}), der svarer til en eftervirkning (se Bilag 1). Eftervirkning, (C_{hist}), der er baseret på et kvalificeret skøn, er for kløvergræs, frøgræs og vedvarende græs fastsat, så den svarer til hhv. 1, ½ og ¼ DE pr. ha pr. år. Disse afgrøder indgår pt. ikke i egentlige sædskiftejusteringer, hvorfor opsplitningen er uden praktisk betydning for de i Ørum et al. (2017) gennemførte analyser.

Sammenfatning

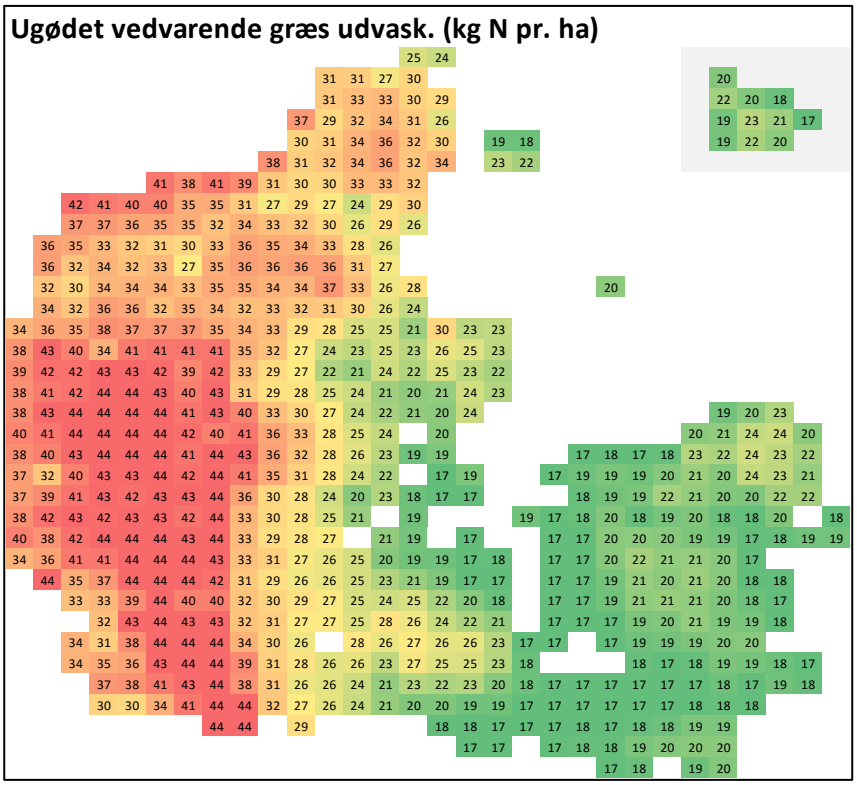
Ved sammenligning af udvaskningsberegninger med hhv. NLES4 og GUUS er der opnået en høj forklaringsgrad for Norsminde Fjord oplandet. Den valgte udgave af GUUS har også, med godt resultat, været afprøvet for andre grids, men der udestår en grundig kontrol af modellens håndtering af husdyrgødning, før den anvendes i andre landsdele. GUUS kan udbygges til at kunne skelne mellem husdyrgødning fra svin og kvæg, hvor parameteren q opdeles i q_{svin} og $q_{kvæg}$ mv. Effekten af efterafgrøder bestemt på grundlag af Virkemiddelkataloget afviger væsentligt fra de effekter, der beregnes med GUUS.

Supplerende beregninger

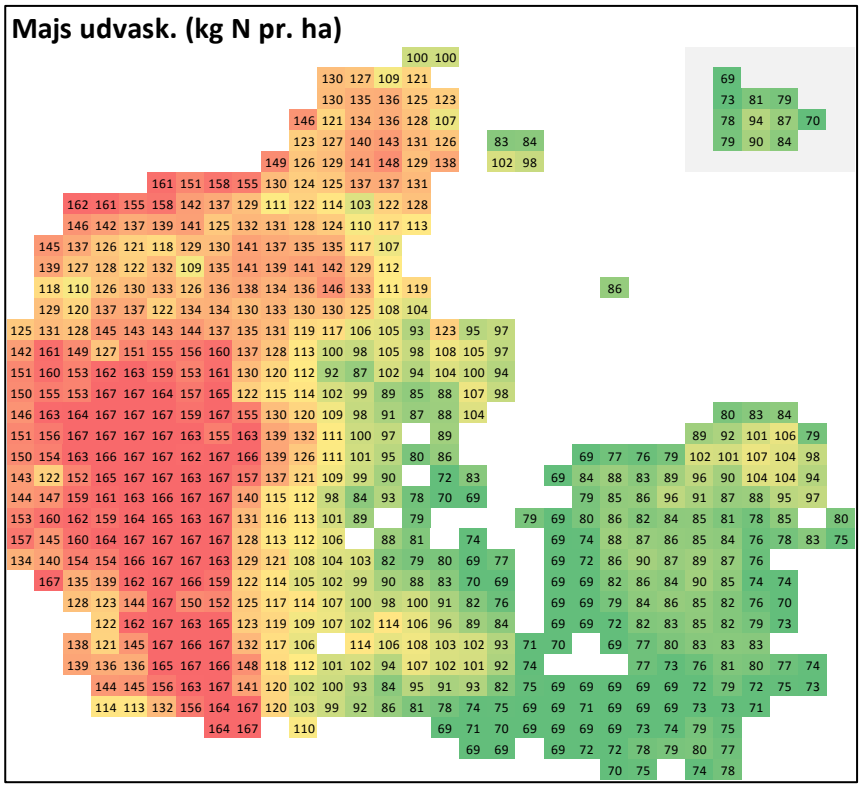
Figur 21-24 viser udvaskning fra rodzonen for vedvarende græs med og uden gødningstildeling samt udvaskning og marginaludvaskning for majshelsæd. Husdyrintensitet i 2013 er indregnet, og de viste værdier er et vægtet gennemsnit for ler og sand i de enkelte grids.



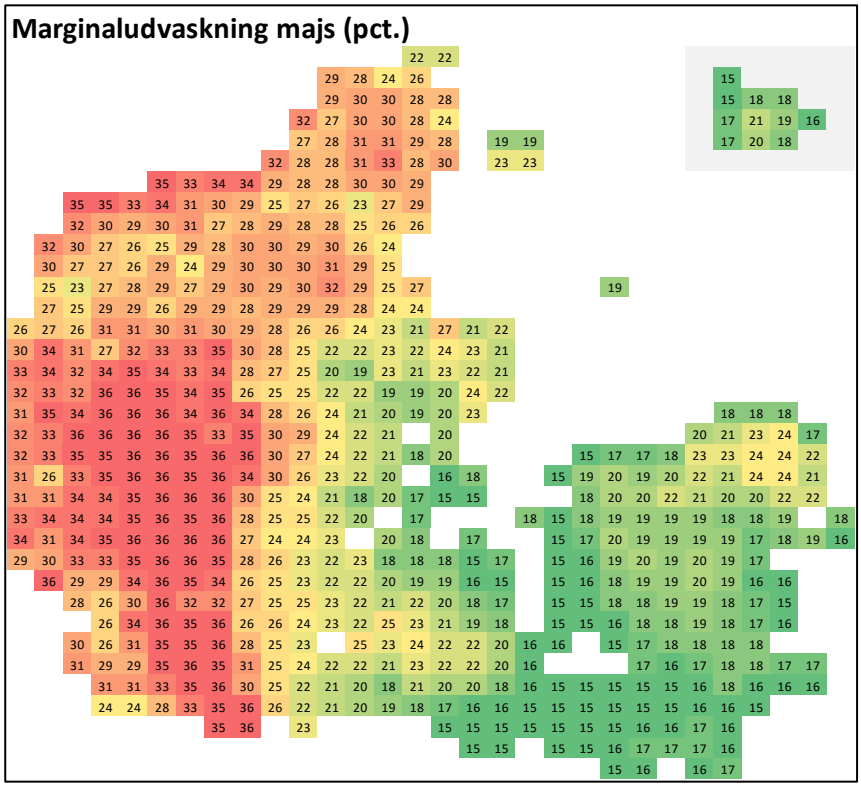
Figur 21. GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for vedvarende græs ved tildeling af 130 kg N pr. ha.



Figur 22. GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for ugødet vedvarende græs (permanent brak).



Figur 23. GUUS-beregnet udvaskning fra rodzonen for majshelsæd ved tildeling af 170 kg N pr. ha.



Figur 24. GUUS-beregnet marginaludvaskning fra rodzonen for majshelsæd ved tildeling af 170 kg N pr. ha.

Referencer

Børgesen C.D. (2014). NLES4-beregninger gennemført af DCA i 2014 til brug for IFRO udredning beskrevet i Ørum (2015). http://curis.ku.dk/ws/files/148733033/IFRO_Dokumentation_2015_2.pdf

Børgesen C.D., Jensen P.N., Blicher-Mathiesen G., Schelde K. (2013). Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstofoverskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011 - Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 31, december 2013. http://pure.au.dk/portal/files/68362856/dcarapporten31.pdf

Børgesen, C.D., Thomsen, I.K., Hansen, E.M., Kristensen, I.T., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Jensen, P.N., Olesen, J.E., Eriksen, J. (2015). Notat om tilbagerulning af tre generelle krav, Normreduktion, Obligatoriske efterafgrøder og Forbud mod jordbearbejdning i efteråret. Notat til NaturErhvervstyrelsen 11 november 2015. http://pure.au.dk/portal/files/95991713/Notat_om_tilbagerulning_af_tre_generelle_krav_Normreduktion_Obligatoriske_efterafgr_der_og_Forbud_mod_jordbearbejdning_i_efter_ret_111115.pdf

Eriksen J., Jensen P.N., Jacobsen B.H. (red.) (2014). Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport 052.

Hansen E.M., Thomsen I.K. (2014). Bilag 3. Efterafgrøder: Revurdering af udvaskningsreducerende effekt. I: Eriksen J., Jensen P.N., Jacobsen B.H. (red.), Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering. DCA Rapport 052, s. 21-35.

Højberg A.L., Windolf J., Børgesen C.D., Troldborg L., Tornbjerg H., Blicher-Mathiesen G., Kronvang B., Thodsen H., Ernstsen V. (2015). National kvælstofmodel, Oplandsmodel til belastning og virkemidler. Metode rapport - Revideret udgave september 2015. GEUS, 111 s. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-cycle/Documents/national_kvaelstofmodel_rapport_sep2015.pdf

Jensen J.D. (2001). A regional Econometric Sector Model for Danish Agriculture—A Documentation of the Regionalized ESMERALDA Model, FOI rapport nr. 129.

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 no. 139, December 2008.

Miljø- og Fødevareministeriet (2016). Vejledning om Gødsknings- og Harmoniregler. Planperioden 1. august 2016 til 31. juli 2017. http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Landbrug/Goedningsregnskab/Vejledning_om_goedsknings-_og_harmoniregler_nyeste.pdf

Ørum J.E. (2015). Beskrivelse af det miljøøkonomiske modelapparat anvendt af IFRO til udredning af differentieret arealregulering for NAER i 2014. Frederiksberg: Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. (IFRO Dokumentation; Nr. 2015/2). http://curis.ku.dk/ws/files/148733033/IFRO_Dokumentation_2015_2.pdf

Ørum J.E., Kjærgaard C., Thomsen I.K. (2017). Landbruget og Vandområdeplanerne – omkostninger og implementering af virkemidler i oplandet til Norsminde Fjord. Frederiksberg: Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport 2017 / 258. https://curis.ku.dk/ws/files/178737610/IFRO_Rapport_258.pdf

Østergaard HS (2000). Typetal for nitratudvaskning. Landbrugets Rådgivningscenter. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 11 2000. *Eksempel på anvendelse af Simmelsgaard modellen*. http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2000/87-7944-109-2/pdf/87-7944-108-4.pdf

Bilag 1. C og k_c parametre for 51 "sædskifter" defineret ved afgrødeandele af hhv. vintersæd (Visa), Vårsæd (Vasa), raps (Raps), frøgræs/andet frø (Afro), majshelsæd (Majs) og sædskiftegræs (Græs). Ved beregninger med GUUS benyttes enten C_{tot} for uændret sædskifte eller C_{akt} gældende for det nye sædskifte plus C_{hist} fra det tidligere sædskifte (C-værdierne er i alle tilfælde arealvægtede).

	Visa	Vasa	Raps	Afro	majs	græs	C_{tot}	C_{hist}	C_{akt}	k_C
1	0%	0%	0%	0%	0%	100%	-2,47	0,13	-2,60	0,45%
2	0%	0%	0%	0%	25%	75%	-1,64	0,09	-1,73	0,63%
3	0%	0%	0%	0%	75%	25%	0,02	0,03	-0,01	1,00%
4	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0,85	0,00	0,85	1,19%
5	0%	0%	0%	25%	0%	75%	-2,54	0,13	-2,67	0,51%
6	0%	0%	0%	50%	0%	50%	-2,62	0,13	-2,74	0,57%
7	0%	0%	25%	0%	0%	75%	-2,06	0,10	-2,16	0,62%
8	0%	25%	0%	0%	0%	75%	-3,04	0,33	-3,38	0,68%
9	0%	25%	0%	0%	25%	50%	-1,75	0,22	-1,97	0,82%
10	0%	25%	0%	0%	75%	0%	0,64	0,00	0,64	1,19%
11	0%	25%	0%	50%	0%	25%	-2,61	0,13	-2,73	0,64%
12	0%	25%	25%	0%	0%	50%	-2,24	0,22	-2,46	0,81%
13	0%	50%	0%	0%	0%	50%	-2,15	0,25	-2,40	0,85%
14	0%	50%	0%	0%	25%	25%	-0,82	0,13	-0,95	1,00%
15	0%	50%	0%	0%	50%	0%	0,43	0,00	0,43	1,19%
16	0%	50%	0%	50%	0%	0%	-1,96	0,09	-2,05	0,82%
17	0%	50%	25%	0%	0%	25%	-1,34	0,14	-1,48	0,99%
18	0%	75%	0%	0%	0%	25%	-1,08	0,12	-1,21	1,03%
19	0%	75%	0%	25%	0%	0%	-0,98	0,04	-1,02	1,01%
20	0%	75%	25%	0%	0%	0%	-0,27	0,01	-0,28	1,17%
21	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0,00	0,00	0,00	1,20%
22	25%	0%	0%	0%	0%	75%	-2,19	0,09	-2,28	0,64%
23	25%	0%	0%	0%	25%	50%	-1,36	0,06	-1,42	0,82%
24	25%	0%	0%	0%	50%	25%	-0,53	0,03	-0,56	1,01%
25	25%	0%	0%	0%	75%	0%	0,30	0,00	0,30	1,19%
26	25%	0%	0%	25%	0%	50%	-2,41	0,11	-2,51	0,64%
27	25%	0%	25%	0%	0%	50%	-1,66	0,06	-1,72	0,82%
28	25%	25%	0%	0%	0%	50%	-2,34	0,22	-2,56	0,85%
29	25%	25%	0%	0%	25%	25%	-1,05	0,10	-1,15	1,00%
30	25%	25%	0%	25%	0%	25%	-2,44	0,15	-2,60	0,76%
31	25%	25%	0%	50%	0%	0%	-2,74	0,13	-2,87	0,67%
32	25%	25%	25%	0%	0%	25%	-1,45	0,09	-1,54	0,99%
33	25%	25%	25%	25%	0%	0%	-1,72	0,07	-1,78	0,92%
34	25%	50%	0%	0%	0%	25%	-1,42	0,13	-1,54	1,03%
35	25%	50%	0%	25%	0%	0%	-1,54	0,06	-1,60	0,93%
36	25%	50%	25%	0%	0%	0%	-0,57	0,01	-0,57	1,18%
37	25%	75%	0%	0%	0%	0%	-0,33	0,00	-0,33	1,20%
38	50%	0%	0%	0%	0%	50%	-1,91	0,06	-1,97	0,82%
39	50%	0%	0%	0%	50%	0%	-0,24	0,00	-0,24	1,19%
40	50%	0%	0%	25%	0%	25%	-2,12	0,08	-2,20	0,83%
41	50%	0%	0%	50%	0%	0%	-2,34	0,09	-2,43	0,82%
42	50%	0%	25%	0%	0%	25%	-1,38	0,03	-1,41	1,00%
43	50%	0%	25%	25%	0%	0%	-1,64	0,05	-1,69	0,99%
44	50%	0%	50%	0%	0%	0%	-0,85	0,00	-0,85	1,18%
45	50%	25%	0%	0%	0%	25%	-1,64	0,10	-1,75	1,02%
46	50%	25%	0%	0%	25%	0%	-0,46	0,00	-0,46	1,20%
47	50%	25%	0%	25%	0%	0%	-1,87	0,06	-1,94	0,93%
48	50%	25%	25%	0%	0%	0%	-0,85	0,00	-0,85	1,18%
49	50%	50%	0%	0%	0%	0%	-0,67	0,00	-0,67	1,20%
50	75%	0%	0%	0%	0%	25%	-1,62	0,03	-1,65	1,01%
51	75%	0%	0%	25%	0%	0%	-1,84	0,04	-1,89	1,01%
52	75%	0%	25%	0%	0%	0%	-1,10	0,00	-1,10	1,19%
53	75%	25%	0%	0%	0%	0%	-1,00	0,00	-1,00	1,20%
54	100%	0%	0%	0%	0%	0%	-1,34	0,00	-1,34	1,20%