

# Notat om nitratudvaskning og nitratkoncentrationer i jord og drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder målt i landovervågningen

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 22. December 2022 | 92



# Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Notat om nitratudvaskning og nitratkoncentrationer i jord og drønvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder målt i landovervågningen

Forfatter: Gitte Blicher-Mathiesen  
Institution: Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Hans Estrup Andersen  
Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen

Rekvirent: Projekt Vintersæd kontra efterafgrøder finansieret af Promilleafgiftsfonden

Bedes citeret: Blicher-Mathiesen, G. 2022. Notat om nitratudvaskning og nitratkoncentrationer i jord og drønvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder målt i landovervågningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 18 s. – Fagligt notat nr. 2022|92  
[https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2022/N2022\\_92.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_92.pdf)

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Colorbox

Sideantal: 18

# Indhold

Indledning	4
Strømningsveje	6
Målt afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand fra marker med korn efterfulgt af vinterkorn eller af efterafgrøder	8
Månedsværdier for afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer	14
Konklusion	17
Referencer	18

# Indledning

Efterafgrøder er et virkemiddel, som bruges på dyrkningsfladen til at reducere udvaskningen af kvælstof. Mekanismen er, at efterafgrøder optager kvælstof i efteråret, som ellers potentielt set ville udvaskes i tilfælde af afstrømning. Helt siden Vandmiljøplan I fra 1987 har det været diskuteret, om vintergrønne marker med vinterkorn evt. kunne have samme udvaskningsreducerende effekt som efterafgrøder. I vandmiljøplan I var der krav om, at 65 pct. af en landbrugsbedrifts dyrkede jord skulle være dækket med afgrøder om vinteren, og dette bl.a. kunne opfyldes ved at dyrke vintersæd. Siden dengang har der været gennemført en lang række forsøg, der viser, at efterafgrøder er bedre til at optage kvælstof om efteråret, end hvis der er bar jord eller vintersæd (Vogeler et al., 2021; Eriksen et al., 2020). Derfor er kravet til dyrkning af efterafgrøder et centralt element i den danske indsats for at mindske kvælstoftab til kystvande og der er gradvist implementeret større krav til arealet med efterafgrøder (Grant & Waagepetersen, 2003; Blicher-Mathiesen et al., 2020). Mens efterafgrøder i starten af virkemidlets virke især blev etableret om efteråret på bar jord, er kravet til andel af efterafgrøder nu så højt, at det ofte kan betyde ændring af sædskifte, således at landmænd må opgive at dyrke vinterkorn og i stedet dyrke en vårafgrøde så der er plads til en efterafgrøde om efteråret. Landmandens økonomiske dækningsbidrag for vintersæd er imidlertid væsentligt større end for vårsæd, og ændringer i sædskiftet til dyrkning af flere efterafgrøder, kan have store økonomiske konsekvenser for den enkelte landmand.

I efterårsperioden er der generelt enighed blandt forskere om, at efterafgrøder reducerer udvaskningen mere ift. vintersæd, men der mangler viden om, hvorvidt efterafgrøder efterfulgt af vårsæd over et helt dyrkningssystem og under specifikke lokale klima- og dyrkningsforhold reelt er bedre til at reducere udvaskningen f.eks. om foråret.

I udredningsprojektet "Er kvælstofudvaskningen fra vintersæd større end fra efterafgrøder?" finansieret af promilleafgiftsfonden samarbejder forskere fra Københavns Universitet (KU), Aarhus Universitet (AU) samt specialister fra SEGES om at beskrive den nuværende viden om effekt af efterafgrøder ift. dyrkning af vintersæd for at afdække, hvor der er solid viden på området, samt hvor der er videnshuller, der med fordel kunne afdækkes i fremtiden. Projektet bliver rapporteret i en videnssynthese, som udgivet af SEGES.

Til ovenfor nævnte videnssynthese bidrager Institut for EcoScience, Aarhus Universitet med analyse af afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer, der er målt i jord- og drænvand fra landovervågningen. Undervejs i projektet er der afholdt 3 projektmøder med deltagelse af andre forskere fra KU, fra AU og specialister fra SEGES, hvor metoder og resultater for analysearbejdet er diskuteret. Heri har der været opbakning til de af EcoScience præsenterede konklusioner, der bliver præsenteret i dette notat. Dette notat beskriver ovenfor nævnte analyser, resultater og konklusioner, som derfor indgår i den fælles videnssynthese med de øvrige førnævnte vidensinstitutioner.

I nærværende notat beskrives først transportveje for vand og dermed kvælstof fra mark til vandløb. Dræn og grøfter medfører, at en vis andel af jord- og grundvand strømmer relativt hurtigt til vandløb, som derved ofte modtager en større kvælstoftilførsel, end hvis denne transportvej ikke var etableret.

Hernæst analyseres målinger af afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for de to afgrødekombinationer korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder.

## Strømningsveje

I jorden findes kvælstof som opløst og mobilt nitrat og når vand strømmer ud af rodzonen følger nitraten med. Der kan også være mindre mængder af opløst organisk kvælstof og ammonium i det vand, som forlader rodzonen. Udvasning af nitrat fra jorden starter i efteråret, når mængden af nedbør er større end fordampningen.

Vandet fra rodzonen har forskellige strømningsveje til vandløbet: i) en overfladenær afstrømning via dræn og grøfter, ii) en nedadgående afstrømning via grundvand til vandløbet og endelig også iii) en afstrømning, hvor grundvand på lavereliggende arealer "trykkes op" til vandløbet og afstrømmer via dræn og grøfter eller iv) via direkte overfladeafstrømning.

De forskellige strømningsveje er især styret af, om jorden er drænet eller grøftet, hvor dræning især forekommer på jord med en ler-procent på over 12 pct. Drænrør ligger ofte omkring 1 m's dybde under terræn. Det overordnede strømningsmønster for vandet har betydning for, hvor meget kvælstof der strømmer af til vandløbene.

Netop drænet lerjord er i fokus i denne udredning, fordi myndighedernes krav om dyrkning af efterafgrøder især skal nedbringe udledningen af kvælstof til kystvande. På drænede jorde vil effekten af at dyrke efterafgrøder forventelig have en stor effekt på nitrattransport til dræn, men det er her vigtigt at se på referencen, altså om effekten af efterafgrøde alene ses i forhold til korn efterfulgt af barjord, eller til korn efterfulgt af vinterkorn, som dyrkningsforholdene i dag er på mange plante- og svinebrug. Målte nitratkoncentrationer og nitratudvasning i både jord og drænvand vil derfor kunne give os indsigt i, om efterafgrøder giver lavere nitratudvasning, end hvis der i stedet dyrkes vinterkorn.

I seneste landovervågningsrapport er gns. af fem års data for elementerne i kvælstof markbalancen, den modelberegnete nitratudvasning fra rodzonen, den overfladenære afstrømning via dræn til vandløb samt kvælstoftransporten i vandløb opgjort (Blicher-Mathiesen et al., 2022). Data dækker perioden 2015/16-2019/20 og er opgjort for to sandjords og tre lerjordsoplande.

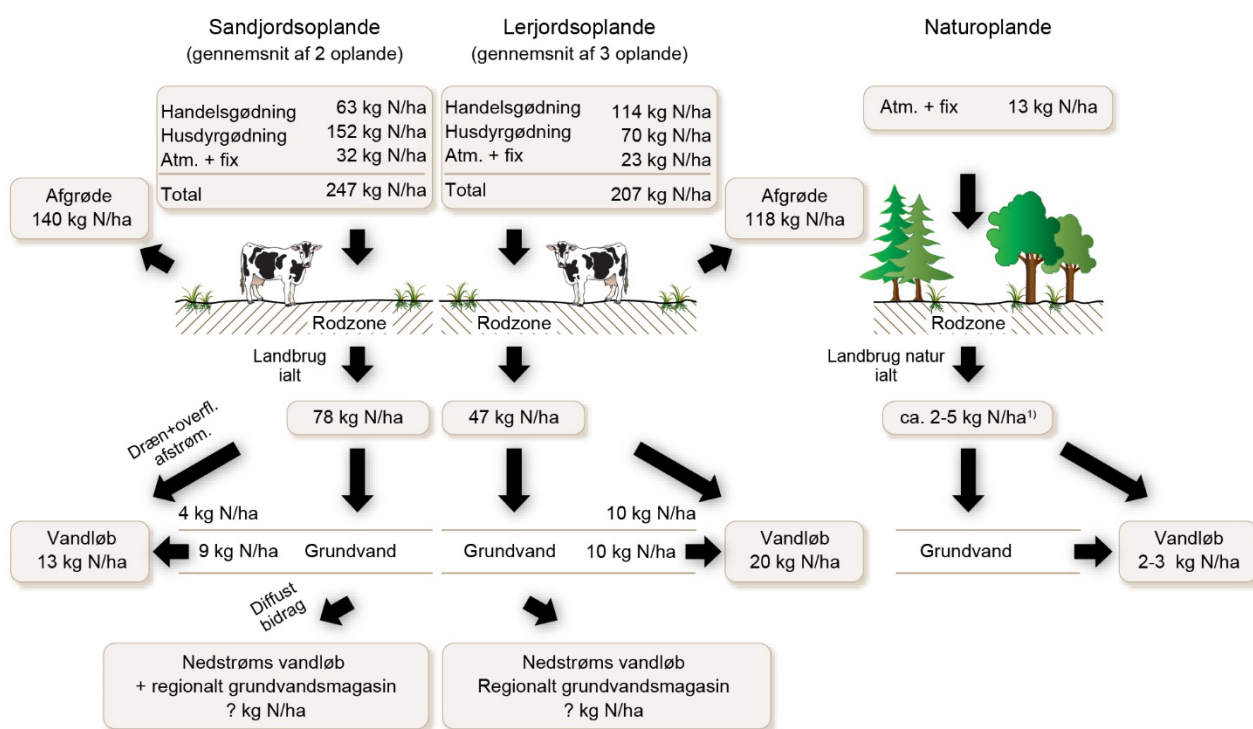
På data fra Landovervågning er fem års data, opgjort for to sandjords- og tre lerjordsoplande for elementerne i kvælstof-markbalancen samt for nitratudvasning fra rodzonen, den overfladenære afstrømning via dræn til vandløb samt kvælstoftransporten i vandløb (Blicher-Mathiesen et al., 2022). Disse data er vist i figur 1. For de tre lerjordsoplande er årsmiddel for nettotilførsel af kvælstof, total N tilført minus total N fraført med afgrøde til marken ca. 89 kg N/ha. Årsmiddel for modelberegnete nitratudvasning (N-LES4) fra rodzonen i oplandet har i perioden udgjort ca. 47 kg N ha/år. Årsmiddel for den diffuse kvælstoftab til vandløbene for de dyrkede arealer har udgjort ca. 20 kg N ha, heraf bidrager drænastrømningen med ca. 10 kg/ha. Strømningsforholdene bevirker, at det gennemsnitligt er godt 42 pct. af rodzoneudvasningen, som er nået til vandløbene. Der er dog stor forskel imellem de enkelte lerjordsoplande.

I sandjordsoplandene er årsmiddel for nettotilførsel af kvælstof til marken ca. 107 kg N/ha. Årsmiddel for den modelberegnete nitratudvasning (N-LES4)

fra rodzonen i oplandet er opgjort til ca. 78 kg N/ha. Årsmiddel for det diffuse kvælstoftab til vandløbene for de dyrkede arealer har udgjort ca. 19 kg N/ha fra oplandet i Nordjylland (LOOP 2) og ca. 7 kg N/ha fra oplandet i Sønderjylland (LOOP 6). Med årsmiddel for modelberegnet udvaskning på 73 kg N/ha (LOOP 2) og 84 kg N/ha (LOOP 6) for de to oplande, svarer det til, at henholdsvis 26 og 8 pct. af rodzonens nitratudvaskningen er nået ud til vandløbene.

Opgørelsen oven for viser, at den overfladenære afstrømning via bl.a. dræn giver et forholdsvis stort N-bidrag til vandløbstransporten på lerjordsoplandene og et mindre bidrag på de to sandjordsoplande. Overordnet set strømmer vand fra rodzonen via forskellige strømningsveje til grundvandet på sand- og lerjord. På sandjord sker størstedelen af afstrømningen til vandløb via grundvand, mens det på lerjord er en langt mindre andel, fordi en stor del afstrømmer via dræn og grøfter (Petersen *et al.* 2021).

### Det årlige kvælstofkredsløb (2015/16 – 2019/20)



**Figur 1.** Skemativering af kvælstofkredsløbet i henholdsvis dyrkede lerjords- og sandjordsoplande samt for naturoplande for årene 2015/16-2019/20. Kvælstofbalancen er fra interviewundersøgelsen 2015-2020, mens udvaskningen er modelberegnet for alle marker i oplandene med N-LES4 med et gennemsnitsklima for perioden fra 1990/91 til 2009/10. Vandløbstransport af total-N er korrigeret for spildevandsudledning, dvs. transporten repræsenterer den diffuse udledning fra dyrkede arealer inkl. spredt bebyggelse og baggrundsbidrag og opgjort som tabet fra det dyrkede areal. <sup>1)</sup> Intervallet for naturarealer, 2-5 kg N ha<sup>-1</sup>, henviser til udvaskningen fra henholdsvis gammel natur og gammel skov (Blicher-Mathiesen *et al.*, 2022).

## Målt afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand fra marker med korn efterfulgt af vinterkorn eller af efterafgrøder

I landovervågningen måles nitrat i jordvand opsamlet med sugeceller, og for en delmængde af marker med sugeceller måles desuden på drænvand opsamlet fra samme mark, som der opsamles jordvand. Målinger gennemføres på permanente stationer/marker og det betyder, at der ikke på samme mark samtidig måles på en kombination af afgrøder eller dyrkningspraksis. En sammenligning af hvordan henholdsvis efterafgrøde kontra dyrkning af vinterkorn påvirker nitratudvaskning, kan derfor ikke opgøres med data for samme år og lokalitet/mark. Sammenligningen gennemføres derfor for særskilte årsobservationer for korn efterfulgt af vinterkorn og korn efterfulgt af en efterafgrøde. Da disse målinger ikke er for samme mark og år, er det hensigtsmæssigt, at vurdere afstrømningens størrelse, da denne direkte påvirker størrelsen af nitratudvaskningen. Hertil anvendes den afstrømningsvægtede nitratkoncentration, som beregnes som den årlige nitratudvaskning divideret med afstrømningen.

Desuden er data udvalgte således, at det kun er handelsgødgede marker, der indgår i sammenligningen. Kornafgrøden kan enten være vårbyg til malt, vårbyg til foder, vinterhvede, vinterhvede til brød og vinterbyg. Disse kornafgrøder tildeles forskellige mængder af handelsgødning med højere tildeling til vinterkorn end til vårkorn. For at gøre sammenligningen mere ensartet, er data opdelt ift. om kornet har fået tildelt mere eller mindre end 208 kg N/ha som handelsgødning. I sammenligning mellem korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder er der kun anvendt observationer, hvor der er tildelt mindre end 208 kg N/ha som handelsgødning. Der er desuden den vigtige forskel, at sukkerroer er forfrugt i 22 ud af 27 jordvands-observationer for korn efterfulgt af vinterkorn, mens både vårkorn, vinterkorn og kartofler er forfrugt for de 13 jordvands-observationerne med korn efterfulgt af en efterafgrøde og det kan have betydning for nitratomsætning og transport i rodzonen (Tabel 2a og b). Anvendte typer af efterafgrøder omfatter både gul sennep og andre korsblomstrede, olieræddike, korn, græs, og en blanding af rug, vårbyg, korsblomstret og honningurt (Tabel 2c). Efterafgrøderne er alle ompløjet omkring 1. november nogle lidt før og efter.



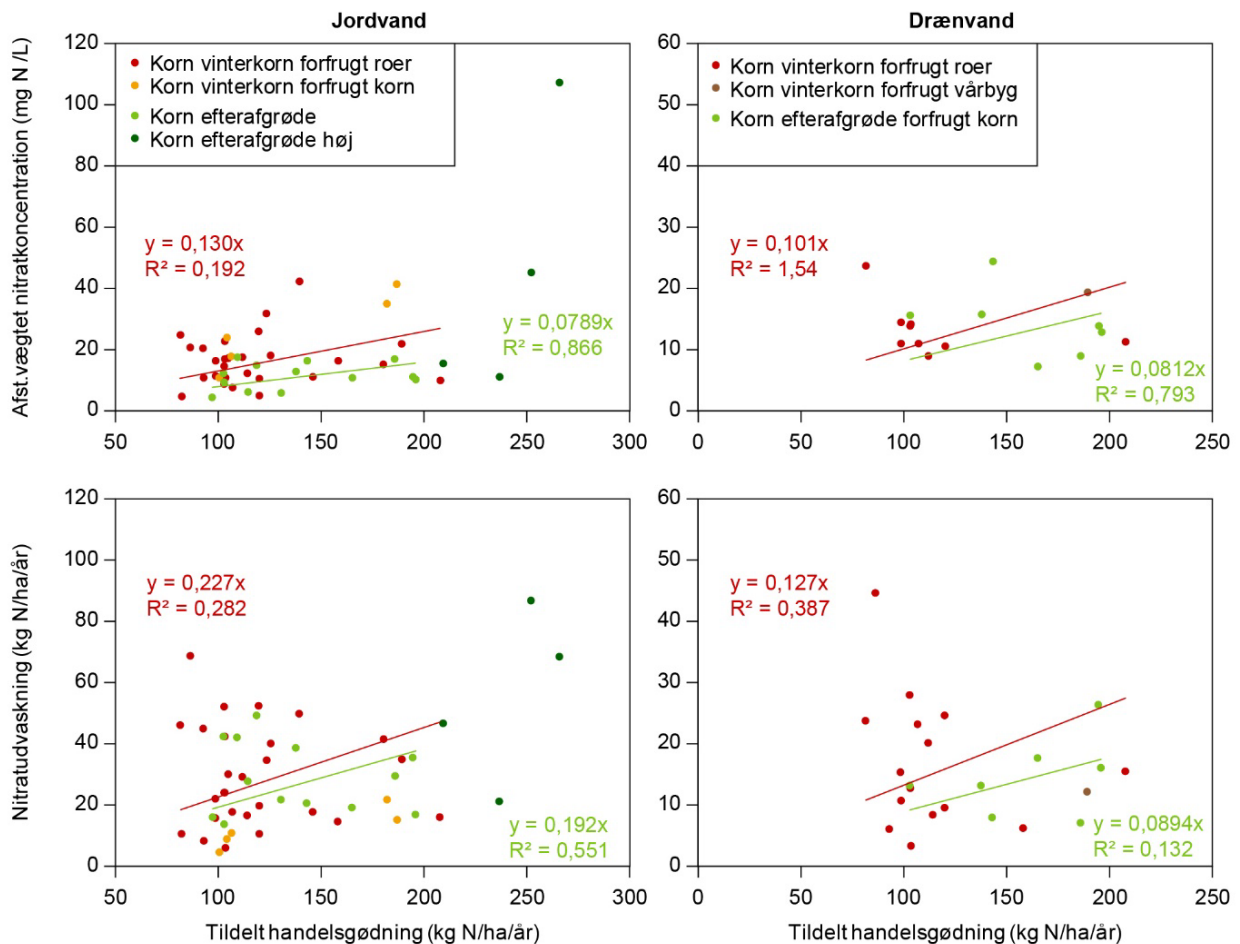
**Tabel 1.** Middel samt standardafvigelse (stdv.) for perkolation (Perk.), afstrømning (Afst.), nitratudvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration (Afst.v.konc.) målt for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn eller en efterafgrøde. Data er opgjort for jordvand opsamlet med sugeceller samt for jordvand, hvor der for samme mark også er målt på drænvand. Både jordvand og drænvand er indsamlet og målt ifm. landovervågningen. Alle kornafgrøder har fået tildelt handelsgødning under 208 kg N/ha. Signifikansniveau er angivet: NS er ikke signifikant, \* er signifikant på  $P < 0,05$ .

	Antal obs.	Jordvand						Drænvand					
		Perk.		Udvaskning		Afst.v. konc.		Afst.		Udvaskning		Afst.v. konc.	
		Middel (mm)	stdv.	Middel (kg N/ha/år)	stdv.	Middel (mg Nitrat-N/l)	stdv.	Middel (mm)	stdv.	Middel (kg N/ha/år)	stdv.	Middel (mg Nitrat-N/l)	stdv.
Alle jordvandsobservationer													
Vinterkorn	27	185	29,3 <sup>NS</sup>	16,0	16,4*	8,1							
Efterafgrøde	13	273	29,9	11,3	11,4	4,1							
Marker hvor nitrat er målt i både jord- og drænvand													
Vinterkorn	16	172	25,1 <sup>NS</sup>	16,7	14,5 <sup>NS</sup>	8,3	138	17,0 <sup>NS</sup>	10,2	11,7 <sup>NS</sup>	3,7		
Efterafgrøde	7	203	24,8	9,0	12,4	2,8	121	14,5	6,0	14,0	5,1		

Fordeling af korntyper ikke er ens for de to grupper; korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. Der forekommer mere vinterkorn som efterfølges af efterafgrøder og derfor mere vårkorn i gruppen der efterfølges af vinterkorn (Tabel 2 a og b). Derfor er både nitratudvaskning og den afstrømningsvægtede nitratkoncentration plottet ift. tildelt handelsgødning i figur 2.

Af figuren ses, at nitratudvaskning for de to kombinationer nogenlunde ligger inden for samme udfaldsrum, når gødningstildelinger ligger under 208 kg N/ha, mens nitratudvaskning er større for tre ud af fire observationer af korn efterfulgt af en efterafgrøde, når tildeling af handelsgødning er over 208 kg N/ha.

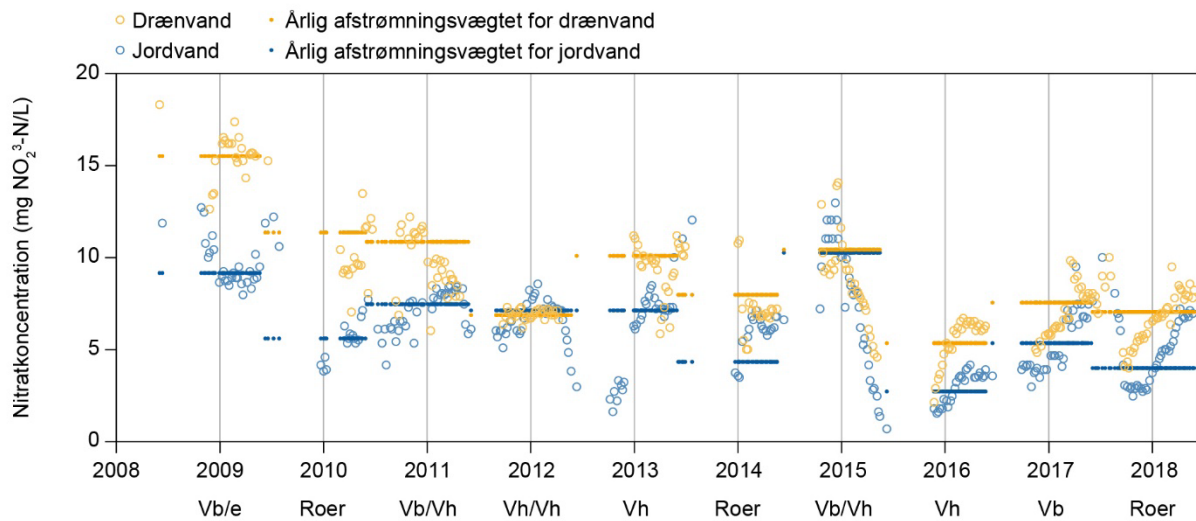
For målinger af både jord- og drænvand er der flere observationer i gruppen korn efterfulgt af vinterkorn (n=16) end korn efterfulgt af efterafgrøder (n=7), begge grupper har handelsgødningstildeling i intervallet 135-200 kg N/ha. Det gør det sværere at sammenholde de to afgrødekombinationer, da der kan være forskel i nitratudvaskning mellem vår- og vinterkorn. Korn efterfulgt af en efterafgrøde ligger generelt med en lidt lavere relation mellem tildelt handelsgødning og udledning til dræn end korn efterfulgt af vinterkorn, men der kan ikke opgøres en signifikant forskel hverken i nitratudvaskning eller i afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer hverken for jord- eller drænvand for de to afgrødekombinationer.



**Figur 2.** Relation mellem tildelt handelsgødning og nitratudvaskning (øverst) og afstrømningsvægtet nitratkoncentration nederst i henholdsvis jordvand (tv.) og drænvand (th.) for henholdsvis korn efterfulgt af vinterkorn med forfrugt roer eller korn, korn efterfulgt af en efterafgrøde begge med tildelt handelsgødning under 200 kg N/ha og endelig korn efterfulgt af en efterafgrøde 'Korn efterafgrøde høj' med tildelt handelsgødning over 200 kg N/ha, sidstnævnte observationer indgår kun i de to figurer med jordvand.

Ses på de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for jordvand (figurer 2, øverst) ligger relationen mellem tildelt handelsgødning og de målte afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer signifikant lavere ( $P=0,039$ ) opgjort for jordvand, mens der ikke signifikant forskel for drænvand.

I figur 3 vises målte nitratkoncentrationer i jord og drænvand for st107 for årene 2008-2017. Sugecellerne ligger i LOOP 1 på Lolland. Generelt ligger de målte nitratkoncentrationer relativt lavt mellem 1 og 19 mg N/L med lidt højere koncentrationer i drænvand end i jordvand. Generelt er der lave nitratkoncentrationer efter sukkerroer. Efter roer dyrkes vårbyg og herefter igen vinterhvede. Før roer dyrkes vårbyg og i et enkelt år, 2008, vårbyg med efterafgrøde.



**Figur 3.** Målte nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for st107. Orange og blå linjer udgør de årlige afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for henholdsvis dræn- og jordvand og under hvert årstal er angivet afgrøde for høståret før udvaskningen i det hydrologiske år. Afgrødeteksten er forkortet, hvor Vb er Vårbyg efterfulgt af bar jord, Vh er vinterhvede efterfulgt af bar jord, VB/e er vårbyg efterfulgt af en efterafgrøde, Vb/Vh er vårbyg efterfulgt af en vinterhvede.

**Tabel 2a.** Kornafgrøde, forfrugt og kvælstofinput (Handelsgødning, Han; deposition, Dep., N-fiksering, Nfiks og -fraførsel med høst samt afstrømning, perkolation, Perk., nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn.

Korn vinterkorn				Jordvand			Dræn			Balance	Dep.	Såsed	Nfiks.	Han	Høst
Afgrøde	Forfrugt	stnr	hyd. år	Perk. (mm)	Udv. (kg N/ha/år)	Afst.v.konc. (mg N/L)	Afst (mm)	Udv. (kg N/ha/år)	Afst.v.konc. (mg N/L)						
Vårbyg, malt	Fabriksroer	105	200001	57	6,0	10,6	32,6	3,4	10,3	127,5	20	2	2	104	118
Vårbyg, malt	Fabriksroer	103	200001	77	8,3	10,8	51,9	6,1	11,7	113,9	17	2	2	93	108
Vinterhvede	Fabriksroer	105	201314	89	14,6	16,3	58,0	6,2	10,7	27,8	13	2	2	158	133
Vårbyg, malt	Fabriksroer	103	200910	134	16,5	12,3	96,4	8,4	8,7	133,1	15	2	2	114	88
Vårbyg	Fabriksroer	102	199192	212	10,6	5,0	159,5	9,6	6,0	144,0	20	2	2	120	103
Vårbyg, malt	Fabriksroer	103	199798	194	21,9	11,3	97,2	10,7	11,0	120,6	18	2	2	99	86
Vårbyg, malt	Fabriksroer	105	200304	106	23,9	22,6	90,1	12,8	14,2	124,2	17	2	2	103	108
Vårbyg	Fabriksroer	103	200304	97	15,8	16,3	106,7	15,4	14,4	118,6	16	2	2	99	97
Vinterhvede	Fabriksroer	105	199192	162	15,9	9,8	138,3	15,4	11,2	233,8	22	2	2	208	150
Vinterhvede	Vårkorn	105	201920	160	34,9	21,8	158,4	19,2	12,2	9,2	14	2	2	189	182
Vårbyg	Fabriksroer	105	201415	168	29,1	17,3	227,8	20,1	8,8	-9,2	16	2	2	112	123
Vårbyg, malt	Fabriksroer	107	201011	237	17,7	7,5	212,7	23,1	10,9	126	15	2	2	107	104
Vårbyg, malt	Fabriksroer	105	199798	187	46,2	24,7	100,8	23,8	23,6	103,6	18	2	2	82	98
Vårbyg	Fabriksroer	107	201415	192	19,7	10,3	235,4	24,6	10,5	10,8	16	2	2	120	111
Vårbyg	Fabriksroer	104	199495	355	52,0	14,6	202,5	27,9	13,8	128,0	21	2	2	103	116
Vårbyg	Fabriksroer	105	199495	331	68,7	20,8	302,6	44,6	14,7	111,4	21	2	2	86	99
Vårbyg, malt	Fabriksroer	104	199798	223	45,0	20,2				114,7	18	2	2	93	105
Vårbyg, malt	Fabriksroer	104	201011	249	42,3	17,0				122,1	15	2	2	103	119
Vårbyg	Fabriksroer	104	201617	118	49,8	42,2				156,4	13	2	2	139	115
Vårbyg	Fabriksroer	104	201920	202	52,2	25,8				137,7	14	2	2	120	141
Vårbyg	Fabriksroer	102	201213	176	29,9	17,0				5,9	14	2	2	105	101
Vårbyg	Fabriksroer	104	201314	109	34,7	31,8				-1,1	13	2	2	123	127
Vårbyg	Fabriksroer	102	201516	224	40,1	17,9				21,5	14	2	2	126	106
Vårbyg, malt	Vinterkorn	401	201213	229	10,7	4,7				-16,2	14	2	2	82	100
Vårbyg	Vinterkorn	401	201415	272	23,9	8,8				0,8	16	2	2	103	104
Vårbyg	Vinterkorn	401	201617	161	17,7	11,0				41,6	13	2	2	146	106
Vinterhvede	Vinterraps	405	201718	276	41,5	15,0				-4,5	13	2	2	180	187

**Tabel 2b.** Kornafgrøde, forfrugt og kvælstofinput (Handelsgødning, Han; deposition, Dep., N fiksering, Nfiks og -fraførsel med høst samt afstrømning, perkolation, Perk., nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for korn efterfulgt af efterafgrøde.

Korn efterafgrøde	Forfrugt	stnr	Hyd. år	Perk. (mm)	Jordvand			Dræn			Balance	Dep.	Såsed (kg N/ha/år)	Nfiks.	Han	Høst
					Udv. (kg N/ha/år)	Afst.v.konc. (mg N/L)	Afst (mm)	Udv. (kg N/ha/år)	Afst.v.konc. (mg N/L)							
Vinterhvede	Vinterkorn	103	201920	175	29,4	16,8	79,4	7,1	9,0	38,7	14	2	2	186	149	
Vårbyg	Vårkorn	406	201819	127	20,6	16,3	32,5	7,9	24,3	40,3	13	2	2	143	105	
Vårbyg til malt	Vårkorn	107	200809	151	13,8	9,2	84,4	13,1	15,5	20	14	2	2	103	85	
Vårbyg	Vårkorn	406	201718	304	38,6	12,7	84,6	13,2	15,6	22,6	13	2	2	138	117	
Vinterhvede	Vårkorn	103	200405	164	16,8	10,3	126,0	16,1	12,8	46,8	15	2	2	196	151	
Vinterhvede	Vårkorn	105	201516	179	19,1	10,6	247,6	17,6	7,1	37,1	14	2	2	165	130	
Vinterhvede (brød)	Vårkorn	103	200102	322	35,6	11,0	189,9	26,4	13,9	44,6	16	2	2	195	152	
Vinterbyg	Vårkorn	401	201516	373	21,6	5,8				-8,6	14	2	2	131	141	
Vårbyg til malt	Vinterkorn	405	200405	347	42,3	12,2				5,2	15	2	2	102	99	
Vårbyg	Kartofler	204	201415	386	16,1	4,2				4,7	16	2	2	97	95	
Vårbyg	Vårkorn	405	201415	239	41,9	17,6				9,8	16	2	2	109	101	
Vårbyg	Vårkorn	204	201516	450	27,7	6,2				30	14	2	2	115	87	
Vårbyg	Vinterkorn	405	201920	331	49,2	14,9				14,9	14	2	2	119	106	

**Tabel 2c.** Afgørde, forfrugt, type af efterafgrøde og tidspunkt for opløjning samt monitorering i jord- og drænvand eller kun jordvand for afgørdekombinationen korn efterfulgt af en efterafgrøde

Korn efterafgrøde	Forfrugt	stnr	Hyd. år	Efterafgrøde	Pløjetid	Monitorering
Vinterhvede	Vinterkorn	103	201920	Pligtig efterafgr. korsblomstr.(nedm.)	13. nov.	jord- og drænvand
Vårbyg	Vårkorn	406	201819	Pligtig efterafgr. korsblomstr.(nedm.)	1. nov.	jord- og drænvand
Vårbyg til malt	Vårkorn	107	200809	Pl.+MFO, bl. rug/vårbyg/korsbl./hon.urt	26. okt.	jord- og drænvand
Vårbyg	Vårkorn	406	201718	6% efterafgr græs(nedm.)udlægslet efterår	1. nov.	jord- og drænvand
Vinterhvede	Vårkorn	103	200405	6% efterafgr græs(nedm.)udlægslet efterår	1. nov.	jord- og drænvand
Vinterhvede	Vårkorn	105	201516	6% efterafgr- græs(nedm.)udl.forår	25. nov.	jord- og drænvand
Vinterhvede (brød)	Vårkorn	103	200102	6% efterafgr. gul sennep(nedm.)	15. okt.	jord- og drænvand
Vinterbyg	Vårkorn	401	201516	Pligtig efterafgr. olieræddike(nedm.)	30. marts	Jordvand
Vårbyg til malt	Vinterkorn	405	200405	Pligtig efterafgr. græs(nedm.)udl.forår	1. nov.	Jordvand
Vårbyg	Kartofler	204	201415	Pligtig efterafgr./korn(nedm.)s.1/8	1. nov.	Jordvand
Vårbyg	Vårkorn	405	201415	Pligtig efterafgr. græs(nedm.)udl.forår	25. nov.	Jordvand
Vårbyg	Vårkorn	204	201516	Pligtig efterafgr./korn(nedm.)s.1/8	24. nov.	Jordvand
Vårbyg	Vinterkorn	405	201920	Pligtig efterafgr. græs(nedm.)udl.forår	15. nov.	Jordvand

## Månedsværdier for afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer

Gennemsnitlig afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer er opgjort for både drænvand og jordvand for hver måned for de to afgrødefølger korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og af efterafgrøder og vist som Box-plot i figur 4. Af figuren ses, at både afstrømning og nitratudvaskning er størst i vintermånederne december, januar og februar, herefter aftager disse -dog stadig med relativ høje værdier for marts, en del lavere i april og med nærmest ingen afstrømning og nitratudvaskning i de øvrige forårs måneder. Afstrømning og udvaskning er fortsat lav frem til november for jordvand og december for drænvand. Som forventet starter afstrømningen før for jordvand, idet afstrømning fra rodzonen medfører, at grundvandsstanden stiger, og først når denne når op over drændybden, begynder afstrømningen gennem drænene.

Der er gennemført en statistisk T-test på, om der er forskel på de ovennævnte månedsværdierne mellem korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn eller af efterafgrøde på log-transformerede data i statistikprogrammet SAS.

Den statistiske test viste, at der ikke er signifikant forskel på de viste månedsværdier på nær for nitratudvaskning fra dræn i marts og afstrømningsvægtet nitratkoncentration i dræn i marts og april angivet med \* øverst i figur 4 med  $p < 0,05$ . I marts var den gennemsnitlige afstrømningsvægtede nitratkoncentration i dræn  $10,1 + 3,5$  mg N/L for korn efterfulgt af vinterkorn og  $14,5 + 5,4$  mg N/L for korn efterfulgt af en efterafgrøde (Tabel 3). Med en middelfafstrømning for denne måned på henholdsvis 21 og 24 mm for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde medførte det en signifikant mindre nitratudvaskning fra dræn for korn efterfulgt af vinterkorn med en udvaskning på  $2,0 + 1,6$  kg N/ha mod  $3,4 + 1,8$  kg N/ha for korn efterfulgt af en efterafgrøde.

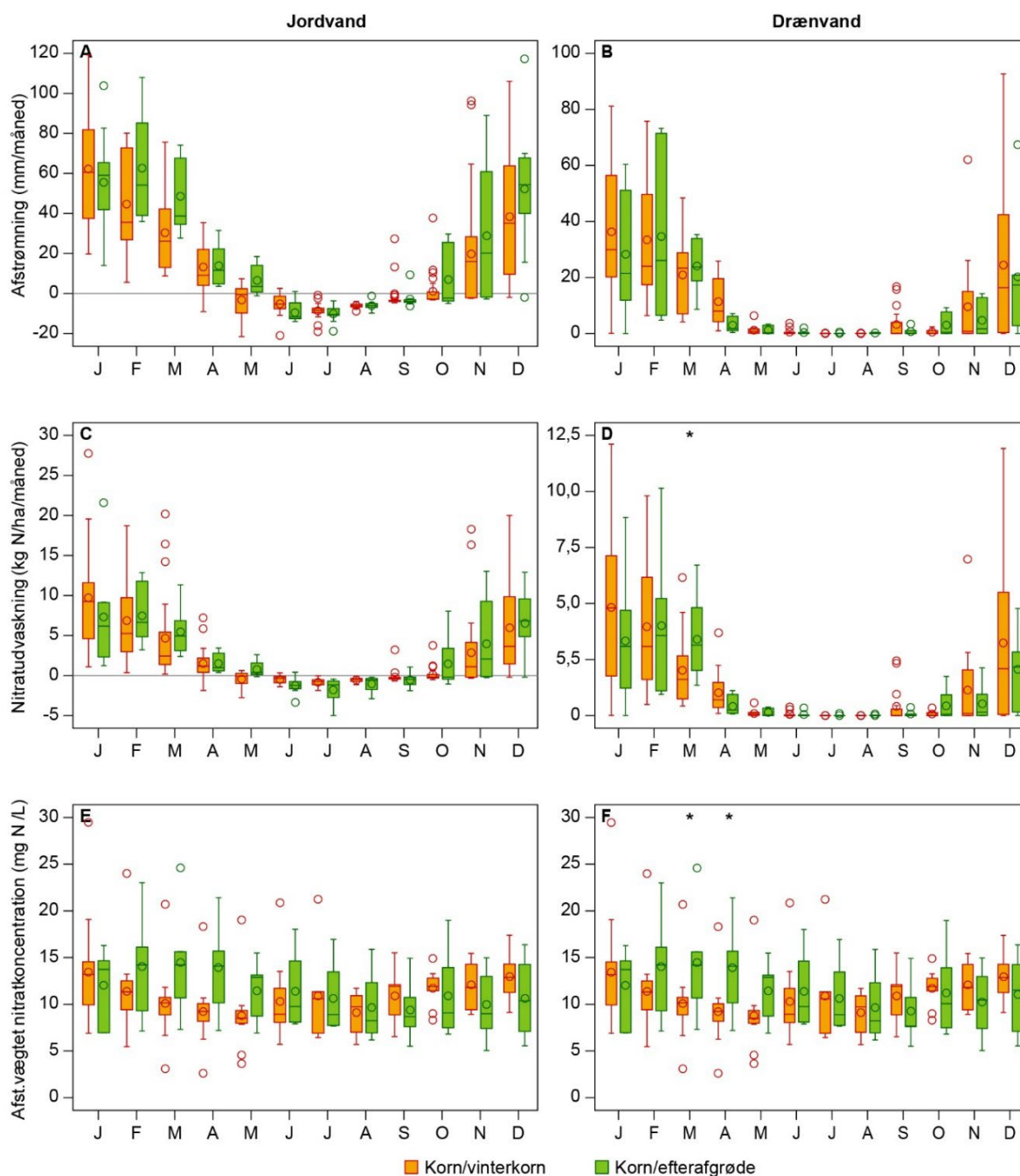
For april var der også som før nævnt en signifikant forskel på de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer med hhv.  $9,2 + 3,2$  mg N/L for korn efterfulgt af vinterkorn og  $13,9 + 4,5$  mg N/L for korn efterfulgt af en efterafgrøde. Men da middelfafstrømningen er mindre og reelt ret forskellig for denne måned, 8,0 og 1,8 mm for henholdsvis korn efterfulgt af vinterkorn og efterafgrøde medførte det nitratudvaskninger på hhv.  $1,0 + 1,6$  for korn efterfulgt af vinterkorn og  $0,4$  kg N/ha for korn efterfulgt af efterafgrøder. Det vil altså sige en mindre udvaskning for korn efterfulgt af efterafgrøder, idet middelfafstrømningen for april var mindre for korn efterfulgt af en efterafgrøde end for korn efterfulgt af vinterkorn. Så selv om månedsmiddel for de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i dræn som forventet er lavere for korn efterfulgt af efterafgrøde end af vinterkorn i september-december og lavere for jordvand i november og december, viste den statistiske analyse, at disse forskelle ikke er signifikante.

Statistikken viste, at der er signifikant lavere afstrømningsvægtet nitratkoncentration i marts og april for afgrødefølgen korn efterfulgt af vinterhvede end korn efterfulgt af en efterafgrøde, men da afstrømningen fra korn efterfulgt af en efterafgrøde er meget lav, 0,4 mm i april gav det reelt en lavere

nitratudvaskning herfra end fra korn efterfulgt af vinterkorn. Ved efterafgrøder med efterfølgende vårsæd ligger jorden i modsætning til vintersæd bar fra det tidspunkt efterafgrøderne nedmuldes, ofte omkring 1. november på lerjord til begyndelsen af maj, hvor vårbyggen begynder at have en betydelig kvælstofoptagelse. Det er derfor vigtigt at vide, om dyrkning af efterafgrøder kan give anledning til en større nitratudvaskning i forårsperioden end fra vintersæd, hvor jorden er dækket af afgrøden hele vinteren og foråret.

**Table 3.** Månedsværdier for drænastrømning, drænuvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i dræn for de to grupper korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. \* angiver at der er signifikant forskel på de opgjorte afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer eller nitratudvaskning med  $p < 0,05$ .

Afgørde kombination	Måned	Antal obs	Afstrømning dræn (mm/måned)			Udvaskning dræn (kg Nitrat-N/ha/måned)			Afstr. vægtet nitratconc. dræn (mg N/L)		
			Median	Middel	Std.Dev.	Median	Middel	Std.Dev.	Median	Middel	Std.Dev.
Korn/Vinterkorn	1	16	29,9	36,2	26,5	4,8	4,8	3,5	13,2	13,4	5,4
Korn/efterafgr.	1	7	21,5	28,4	21,8	3,1	3,3	2,9	13,7	12,0	4,1
Korn/Vinterkorn	2	16	24,0	33,5	22,0	3,1	4,0	3,0	11,3	11,4	4,0
Korn/efterafgr.	2	7	26,1	34,6	28,2	3,6	4,0	3,1	14,2	14,0	5,1
Korn/Vinterkorn	3	16	23,3	20,9	14,3	1,6	2,0*	1,6	10,1	10,1*	3,5
Korn/efterafgr.	3	7	23,7	24,1	9,2	3,1	3,4*	1,8	14,2	14,5*	5,4
Korn/Vinterkorn	4	16	8,0	11,5	8,6	0,7	1,0	1,0	9,2	9,2*	3,2
Korn/efterafgr.	4	7	1,8	3,1	2,7	0,2	0,4	0,4	14,1	13,9*	4,5
Korn/Vinterkorn	5	16	0,7	1,2	1,6	0,1	0,1	0,1	8,5	8,8	3,3
Korn/efterafgr.	5	7	0,2	1,2	1,5	0,0	0,1	0,2	12,9	11,4	3,5
Korn/Vinterkorn	6	16	0,0	0,5	1,1	0,0	0,1	0,1	8,9	10,3	4,4
Korn/efterafgr.	6	7	0,0	0,3	0,7	0,0	0,1	0,1	9,8	11,4	4,7
Korn/Vinterkorn	7	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	10,9	4,9
Korn/efterafgr.	7	7	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	8,9	10,6	4,4
Korn/Vinterkorn	8	16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	9,1	2,4
Korn/efterafgr.	8	7	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	8,2	9,6	4,3
Korn/Vinterkorn	9	16	0,0	3,2	5,8	0,0	0,4	0,8	11,9	10,9	3,0
Korn/efterafgr.	9	7	0,0	0,7	1,2	0,0	0,1	0,1	7,7	9,3	3,7
Korn/Vinterkorn	10	16	0,0	0,5	0,8	0,0	0,1	0,1	11,9	11,7	2,0
Korn/efterafgr.	10	7	0,5	3,1	4,0	0,1	0,4	0,7	10,1	11,2	4,7
Korn/Vinterkorn	11	16	0,8	9,6	16,6	0,1	1,1	1,9	11,8	12,1	2,5
Korn/efterafgr.	11	7	1,7	4,7	6,2	0,2	0,5	0,8	10,5	10,2	3,7
Korn/Vinterkorn	12	16	16,4	24,5	28,0	2,1	3,2	3,9	12,9	13,0	2,5
Korn/efterafgr.	12	7	17,3	20,2	22,3	2,2	2,1	1,6	11,5	11,0	4,2



**Figur 4.** Box-plot af månedsværdier for afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration for jord- og drænvand opdelt i de to afgrødefølger korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. Den statistiske test viste, at der ikke er signifikant forskel på de viste månedsværdier på nær for nitratudvaskning fra dræn i marts og afstrømningsvægtet nitratkoncentration i dræn i marts og april angivet med \* øverst i panel D og F hvor \* angiver at  $P < 0,05$ .

Generelt er der stor variation i de viste månedsværdier for nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for både jord- og drænvand og det skal understreges at antallet af observation for dræn kun omfatter 16 og 7 hydrologiske år med afgrødefølgen korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde. De viste data og statistiske analyser viser dog, at effekten af efterafgrøder ift. vinterkorn bør analyseres nærmere og gerne med målinger, der i højere grad end hidtil afdækker betydningen af lokale forhold som specifikke sædskifter og lav nedbør og med et forsøgsdesign der har parallelt sædskifte af korn efterfulgt af vinterkorn kontra efterafgrøde, således at sammenligningen mellem de to afgrødefølger følger samme år og dyrkningsforhold.



## Konklusion

For årlige målinger af nitratudvaskning fra rodzonen på handelsgødet korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder, var der var signifikant lavere afstrømningsvægtede nitratkoncentration for korn efterfulgt af efterafgrøde end korn efterfulgt af vinterkorn, mens der ikke signifikant forskel på nitratudvaskning i kg N/ha. I analysen indgik 27 årlige målinger af korn efterfulgt af vinterkorn og 13 årlige målinger af korn efterfulgt af efterafgrøde. Den gennemsnitlige nitratudvaskning udgjorde 29 og 30 kg N/ha for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder og middel for afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer udgjorde henholdsvis 16,4 og 11,4 mg N/l for de samme kombinationer.

For 23 målinger i både jord- og drænvand var der ikke signifikant forskel på nitratudvaskning/transport for hverken jord- og drænvand og ej heller for de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer. Nitratudvaskning for jordvand udgjorde i gennemsnit 25 kg N/ha både for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder og dræntransport var i gennemsnit henholdsvis 17,0 og 14,6 kg N/ha for de samme to kombinationer.

For dette mindre datasæt udgjorde årsmiddel for de afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jordvand henholdsvis 14,5 og 12,4 mg N/l for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder og i drænvand henholdsvis 11,7 og 14,0 mg N/l.

For månedsværdier er der ikke er signifikant forskel på udvaskning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration på nær for nitrattransport i drænen i marts og afstrømningsvægtet nitratkoncentration i drænen i marts og april, med lavere værdier for vinterkorn end for efterafgrøder.

Generelt er der stor variation i de viste månedsværdier for nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for både jord- og drænvand og det skal understreges, at antallet af observationer for drænen kun omfatter 16 og 7 hydrologiske år med afgrødefølgen korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde. De viste data og statistiske analyser viser dog, at effekten af efterafgrøder ift. vinterkorn bør analyseres nærmere og gerne med målinger, der i højere grad end hidtil afdækker betydningen af lokale forhold som specifikke sædskifter og lav nedbør og med et forsøgsdesign med parallelt sædskifte af korn efterfulgt af vinterkorn kontra efterafgrøde, således at sammenligningen mellem de to afgrødefølger følger samme år og dyrkningsforhold.

Drænmålinger fra Landovervågningen indikerer, at udvaskningen gennem drænen i det tidlige foråret kan være større for efterafgrøder end fra vintersæd, men datagrundlaget er relativt lille og fra forskellige marker og år samt desuden med stor variation i de målte nitratkoncentrationer.

## Referencer

Blicher-Mathiesen, G., Houlborg, T., Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2021. Landovervågningsoplade 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 260 s. - Videnskabelig rapport nr. 472. <http://dce2.au.dk/pub/SR472.pdf>

Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. - DCA rapport nr. 174 <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>

Grant, R. & Waagepetersen, 2003. Vandmiljøplan II - slutevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Jordbrugsforskning, 36 sider. [https://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_Ovrige/rapporter/VMPII/VMPII\\_Slutevaluering.pdf](https://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_Ovrige/rapporter/VMPII/VMPII_Slutevaluering.pdf)

Iversen T.M., Grant R. & Nielsen K. (1998). Nitrogen enrichment of European inland and marine waters with special attention to Danish policy measures. *Environmental Pollution* 102, S1 (1998), 771-780.

Petersen, J.R., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Andersen, H.E. & Kronvang, B. 2021. Three decades of regulation of agricultural nitrogen losses: Experiences from the Danish Agricultural Monitoring Program. *Science of Total Environment* 787:147619. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721026905>

Vogeler, I., Jensen, J.L., Thomsen, I.K., Labouriau, R., Hansen, E.M., 2021. Fertiliser N rates interact with sowing time and catch crops in cereals and affect yield and nitrate leaching. *European Journal of Agronomy* 124, 126244.