

Opdateret notat om målt nitrat-udvaskning og -koncentrationer i jord og nitrat-transport og -koncentrationer drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder i landovervågningen.

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 10. Januar 2025 | 73



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Opdateret notat om målt nitrat-udvaskning og -koncentrationer i jord og nitrat-transport og -koncentrationer drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder i landovervågningen.

Forfatter(e): Gitte Blicher-Mathiesen og Mette Thorsen
Institution(er): Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

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

Ekstern kommentering: Ingen kommentering

Rekvirent: SEGES Innovation

Bedes citeret: Blicher-Mathiesen, G. & Thorsen, M. 2024 Opdateret notat om målt nitrat-udvaskning og -koncentrationer i jord og nitrat-transport og -koncentrationer drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder i landovervågningen. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. – Fagligt notat nr. 2024|73

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Gitte Blicher-Mathiesen

Sideantal: 17

Supplerende noter: Denne version erstatter den tidligere version, der blev offentliggjort 17. December 2024. Denne version er opdateret med ændringer i Appendix.

Indhold

1	Indledning	4
2	Strømningsveje	6
3	Målt afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand - Årsværdier.	9
4	Månedsværdier for afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer	13
5	Konklusion	16
6	Referencer	17

1 Indledning

Efterafgrøder er et virkemiddel, som anvendes på dyrkningsfladen til at reducere nitratudvaskningen. 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 nitrat om efteråret, end hvis hovedafgrøden følges af 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 en 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.

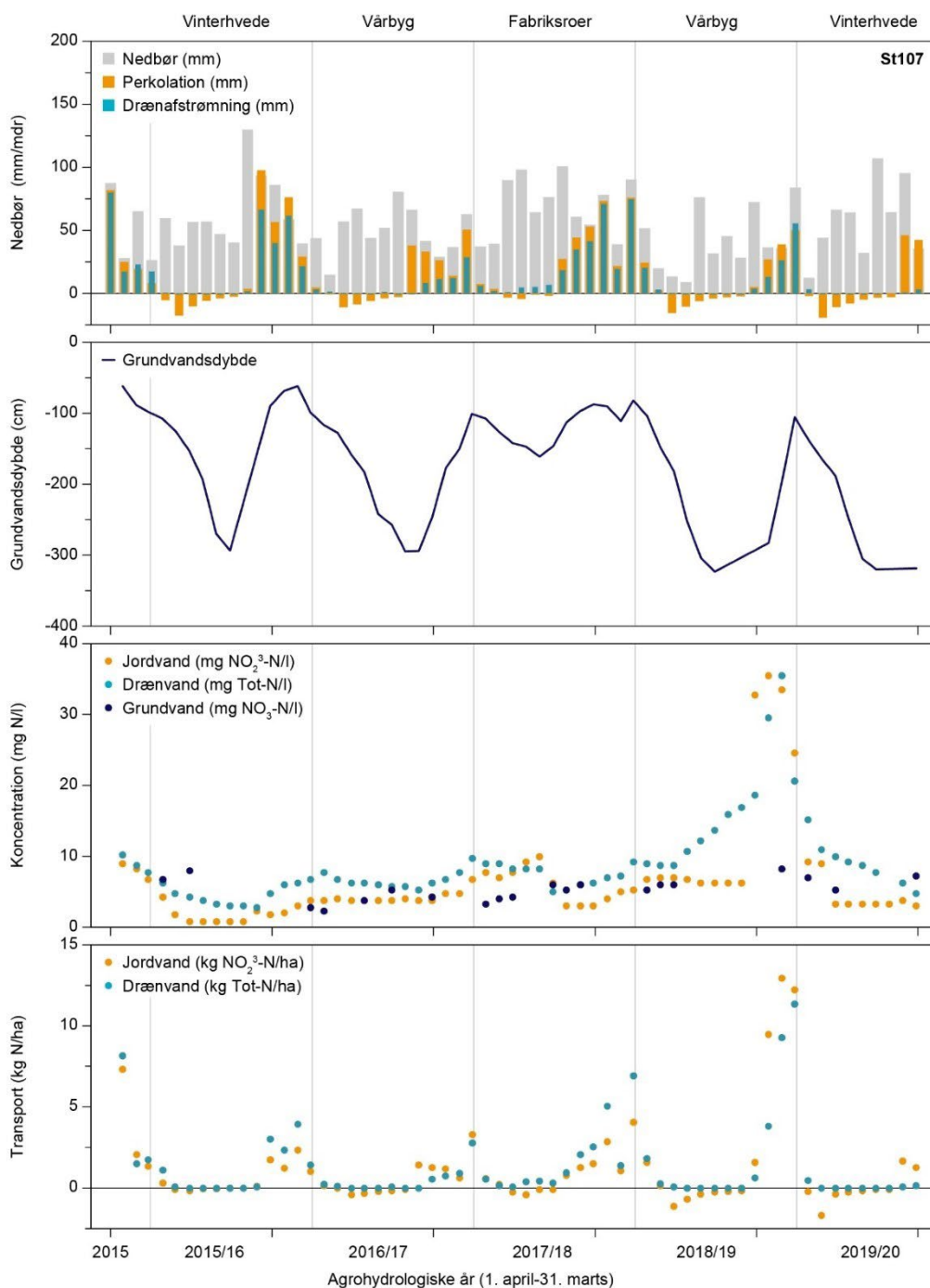
I efterårsperioden er der generelt enighed blandt forskere om, at efterafgrøder reducerer udvaskningen mere end vintersæd, men der mangler viden om, hvorvidt efterafgrøder efterfulgt af vårsæd over et helt dyrkningssystem og under specifikke lokale klima- og dyrkningsforhold reelt er bedre til at reducere 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 i forhold til dyrkning af vintersæd for at afdække, hvor der er solid viden på området, samt hvor der er videnshuller, der med fordel kunne udfyldes i fremtiden. Projektet bliver rapporteret i en videnssyntese, som udgives af SEGES.

Til denne videnssyntese 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 ni projektmøder med deltagelse af andre forskere fra KU, fra AU og specialister fra SEGES, hvor metoder og resultater for analysearbejdet er diskuteret. Her har der været opbakning til de af Ecoscience udledte konklusioner, der bliver præsenteret i dette notat. Konklusionerne fra dette notat indgår i den fælles videnssyntese med de øvrige vidensinstitutioner.

Nærværende notat er en opdatering af notat om nitratudvaskning og nitratkoncentrationer i jord og drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn eller efterafgrøder målt i landovervågningen og publiceret i Blicher-Mathiesen, 2022. Opdatering består i at anvende flere måledata for årene 2019-2022 og nye sammen-

stilling af sammenhænge for vand og nitrat mellem nedbør, perkolation, dræna-
 afstrømning. I nærværende notat beskrives først transportveje for vand og der-
 med 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 mod-
 tager en større kvælstoftilførsel, end hvis denne transportvej ikke var etableret.
 Dernæst analyseres målinger af afstrømning, nitratudvaskning og afstrøm-
 ningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for de to afgrødekom-
 binationer korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder.



Figur 1.1. Nedbør, perkolation og dræna-
 afstrømning (øverst), dernæst målt grundvands-
 stand (næst øverst), målte nitrat kon-
 centrationer i jord- og drænvand samt totalt kvælstof i drænvand, nitratudvaskning for jordvand og total kvælstoftransport for
 drænvand. Alle data er opgjort pr. måned for st107 i perioden 2015-2020. De lodrette grå streger afgrænser det agrohydrologi-
 ske år (1. april til 31. marts), der således er vist for årene 2015/16-2019/20. Koncentrationer i grundvandet er målt i ca. 2,5-3 m
 dybde. Afgrøde for høståret er vist øverst på figuren.

2 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. Udvaskning 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 direkte iv) via overfladeafstrømning. De forskellige strømningsveje er især styret af, om jorden er drænet eller grøftet, hvor dræning især forekommer især på lerrige jorde. 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 dræned jorde vil effekten af at dyrke efterafgrøder forventeligt 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 dyrkning af korn efterfulgt af barjord, eller til dyrkning af korn efterfulgt af vinterkorn, som er den udbredte dyrkning i dag på mange plante- og svinebrug. Målte nitratkoncentrationer og nitratudvaskning i både jord og drænvand fra disse afgrødekombinationer vil derfor kunne give os indsigt i, om efterafgrøder giver lavere nitratudvaskning, end hvis der i stedet dyrkes vinterkorn.

I figur 1.1. vises nedbør, perkolation og drænafstrømning, målt grundvandsstand, målte nitratkoncentrationer i jord- og grundvand samt totalt kvælstof for drænvand samt nitratudvaskning og transport af totalt kvælstof i drænvand opgjort pr. måned for st107 beliggende på Lolland for de agrohydrologiske år 2015/16-2019/20. Af figuren ses, at perkolation af jordvand starter i efteråret før drænvandsafstrømning. Når grundvandsstanden når op omkring drændybde på ca. 1 m under terræn, begynder drænene at afstrømme. Den målte nitratkoncentration i jordvand og totalt kvælstof i drænvand følger samme dynamik og niveau. Når drænene afstrømmer, ligger den målte måneds nitratudvaskning for jordvand tæt på kvælstoftransporten, dog med lidt større forskel mellem drænvand og jordvand i måneder med høj transport.

For st.107 afstrømmer mellem 65 % og 178 % af nitratudvaskning fra rodzonen som totalt kvælstof til dræn opgjort for agrohydrologiske år for perioden 2015/16-2018/20 (Thorsen og Blicher-Mathiesen, 2023). Som median afstrømmer 80 % af nitratudvaskningen som totalt kvælstof til drænene for st.107, opgjort for perioden 1993/94-2020/21. Der er stor variation imellem drænsystemer, i forhold til hvor meget vand og kvælstof der afstrømmer via dræn. For otte marker med målinger i sugeceller og dræn varierer andelen af nitrat, der strømmer som totalt kvælstof i drænene, mellem 16 % og 84 %.

Andel af nedbør, der afstrømmer via dræn, er empirisk modelleret på målte afstrømningsdata for 38 drænstationer med i alt 345 årsværdier for drænafstrømning (agrohydrologiske år, 1. april til 31. marts) (Frederiksen et al.,

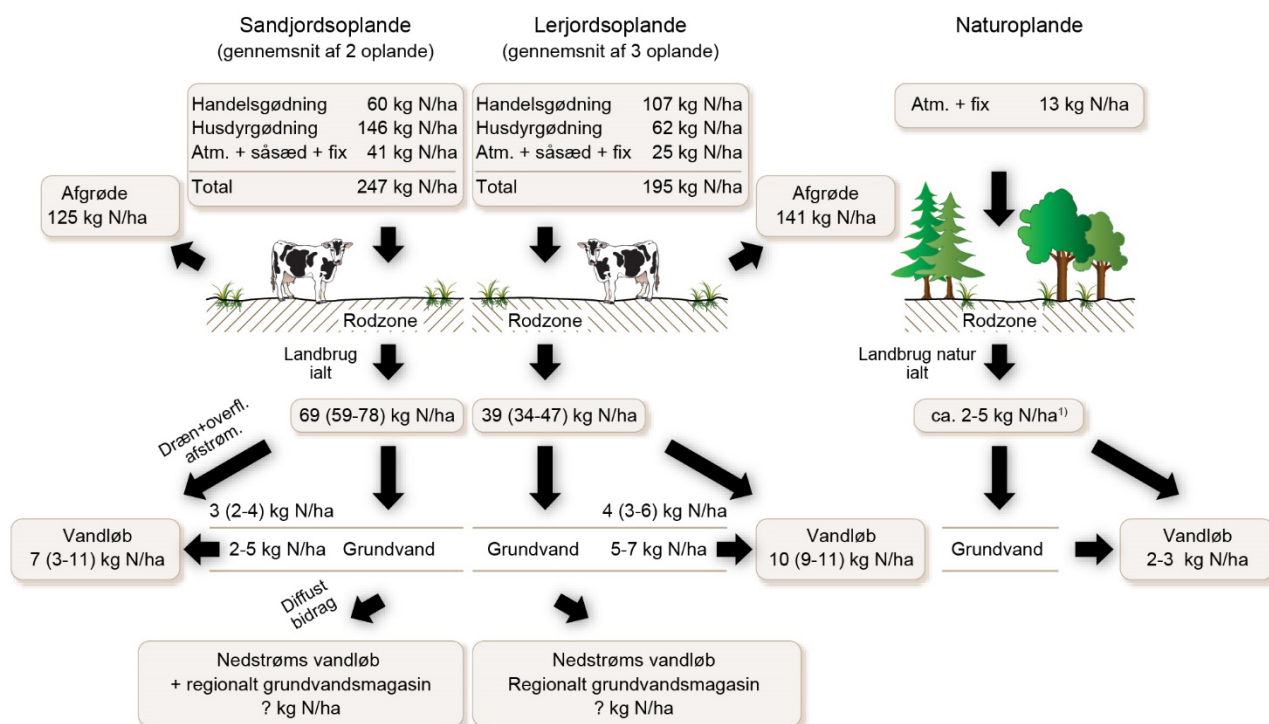
2023). Modellen viste, at dræne starter med at afstrømme, når nedbørmængden er nået en tærskel på 543 mm, og herefter afstrømmer gennemsnitligt 48 % af nedbøren gennem dræne (R² for modellen er 0,57 og P < 0,0001).

Nitratkvælstof kan således godt passere drændybden uden at blive udvasket. Det kan senere udvaskes, når grundvandspejlet stiger, hvis det ikke optages af dybe rødder, denitrificeres eller er nedvasket til det dybere grundvand.

I seneste landovervågningsrapport er gennemsnit af fem års data for elementerne i kvælstofmarkbalancen, den modelberegnete nitratudvaskning fra rodzonen, den overfladenære afstrømning via dræn til vandløb samt kvælstoftransporten i vandløb opgjort (Blicher-Mathiesen *et al.*, 2024). Data dækker perioden 2018/19-2022/23 og er opgjort for to sandjords og tre lerjordsoplande.

Den gennemsnitlige årlige modelberegnete (NLES5) kvælstofudvaskning fra rodzonen for de seneste fem år er ca. 39 kg N/ha på lerjorde og ca. 69 kg N/ha på sandjorde. På såvel ler- som sandjordene er udvaskningen mindre end nettotilførslen, idet der sker tab gennem ammoniakfordampning ved udbringning af husdyrgødning og denitrifikation. Udvasningen er væsentligt større fra sandjordene end fra lerjordene. Til trods herfor er den gennemsnitlige årlige nitrattransport i vandløbene på 10 kg N/ha for lerjordsoplandene højere end udledningen i de to sandjordsoplandene (henholdsvis ca. 3,1 og 11 kg N/ha for de to oplandstyper). Dermed er andelen af rodzoneudvaskningen af nitrat, der når frem til vandløbene væsentligt højere i lerjordsoplandene. Dette skyldes, at vandafstrømningen på lerjordene sker gennem de øvre jordlag og via dræn, mens vandafstrømningen på de to sandjordsoplande i landovervågningen i højere grad sker gennem de dybere jordlag, hvor der forekommer en betydelig kvælstofreduktion. Opgørelsen viser, at den overfladenære afstrømning via bl.a. dræn giver et forholdsvist stort kvælstofbidrag til vandløbstransporten på lerjordsoplandene og et mindre bidrag på de to sandjordsoplande. 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 (2018/19 – 2022/23)



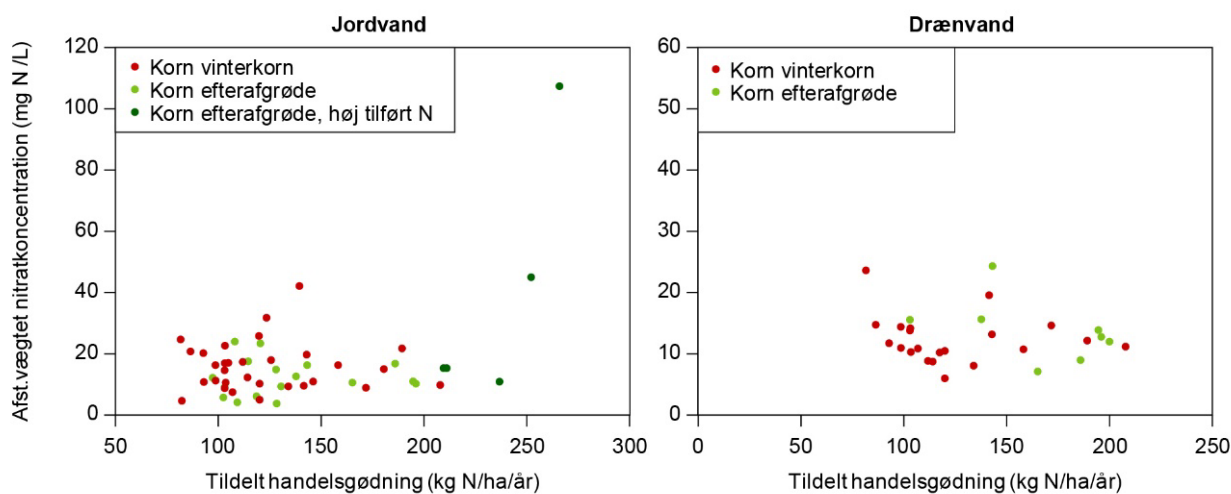
Figur 2.1. Skematisk af kvælstofkredsløbet i henholdsvis dyrkede lerjords- og sandjordsoplande samt for naturoplande for årene 2018/19-2022/23. Kvælstofbalancen er fra interviewundersøgelsen 2018-2022, mens udvaskningen er modelberegnet for alle marker i oplandene med NLES5 med et gennemsnitsklima for perioden fra 1990/91 til 2009/10.

¹⁾ Intervallet for naturarealer, 2-5 kg N ha⁻¹, henviser til udvaskningen fra henholdsvis gammel natur og gammel skov (Blicher-Mathiesen et al., 2024).

3 Målt afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand - Årsværdier.

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 inddrage afstrømningen, da denne direkte påvirker størrelsen af nitratudvaskningen. Derfor anvendes den afstrømningsvægtede nitratkoncentration, som beregnes som den årlige nitratudvaskning divideret med afstrømningen.

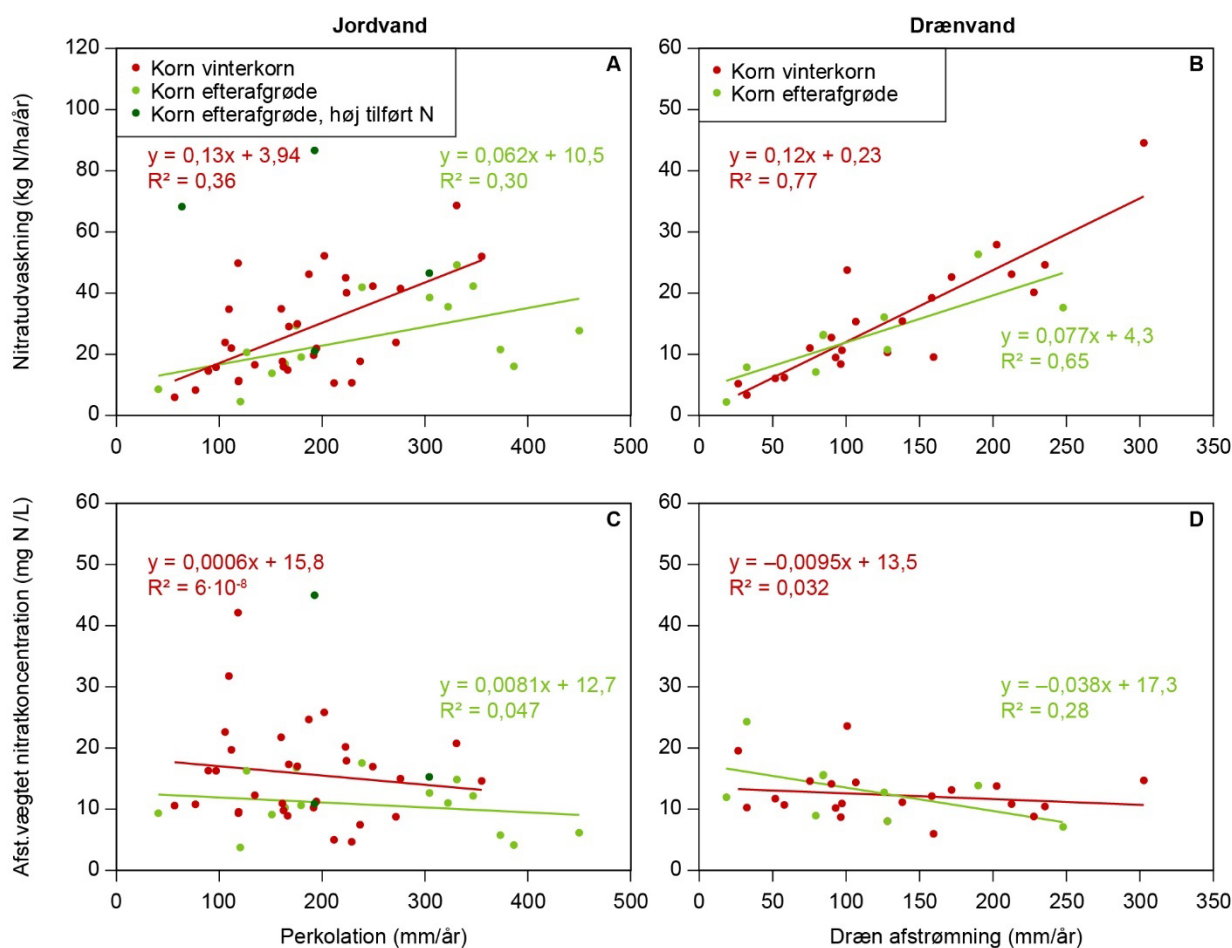
Desuden er data udvalgte således, at det kun er handelsgødede marker, der indgår i sammenligningen. Kornafgrøden kan enten være vårbyg til malt, vårbyg til foder, vinterhvede, vinterhvede til brød og vinterbyg. Disse kornafgrøder tildeles forskellige mængder af handelsgødning med højere tildeling til vinterkorn end til vårkorn. For at gøre sammenligningen mere ensartet, er data opdelt i forhold til, om kornet har fået tildelt mere eller mindre end 208 kg N/ha i form af 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 24 ud af 31 jordvands-observationer for korn efterfulgt af vinterkorn, mens vårkorn er forfrugt for 11 ud af de 14 jordvands-observationerne med korn efterfulgt af en efterafgrøde, og det kan have betydning for nitratomsætning og -transport i rodzonen (data over forfrugt, type af efterafgrøde og gødningsinput er vist i Appendiks A1, A2 og A3).



Figur 3.1. Relation mellem tildelt handelsgødning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration i henholdsvis jordvand (tv.) og drænvand (th.) for henholdsvis korn efterfulgt af vinterkorn og korn efterfulgt af en efterafgrøde begge med tildelt handelsgødning under 208 kg N/ha og endelig korn efterfulgt af en efterafgrøde 'Korn efterafgrøde høj' med tildelt handelsgødning over 208 kg N/ha, sidstnævnte observationer indgår kun i figurer med jordvand.

Anvendte typer af efterafgrøder omfatter både gul sennep og andre korsblomstrede, olieræddike, korn, græs, og en blanding af rug, vårbyg, korsblomstret og honningurt (vist i Appendiks Tabel A3). Efterafgrøderne er alle ompløjet omkring 1. november, nogle lidt før eller efter. For målinger af både jord- og drænvand er der flere observationer i gruppen korn efterfulgt af vinterkorn (n=31 for jordvand og n=21 for drænvand) end korn efterfulgt af efterafgrøder (n=14 for jordvand og ni for drænvand), begge grupper har handelsgødningstildeling i intervallet 135-208 kg N/ha.

Fordeling af korntyper for hovedafgrøden ikke er ens for de to grupper korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. Generelt dækkes hovedafgrøden korn forholdsvis mere af vårkorn, 28 ud af 31 observationer for korn efterfulgt af vinterkorn for jordvand og 19 af 22 observationer for drænvand, mens vårkorn kun dækker halvdelen af hovedafgrøden korn de 14 observationer for korn efterfulgt af en efterafgrøde for jordvand og 6 ud af 10 observationer for drænvand (Appendiks A1 og A2). Det gør det sværere stringent at sammenholde de to afgrødekombinationer, da der kan være forskel i nitratudvaskning mellem vår- og vinterkorn.



Figur 3.2. Relation mellem afstrømning og nitratudvaskning for jordvand (A) og drænvand (B) og relation mellem afstrømning og afstrømningsvægtet nitratkoncentration for jordvand (C) og drænvand (D) opgjort for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og en efterafgrøde.

Derfor er den afstrømningsvægtede nitratkoncentration plottet mod tildelt handelsgødning i figur 2.1. Af figur 2.1. ses, at den afstrømningsvægtede nitratkoncentration for de to kombinationer nogenlunde ligger inden for samme udfaldsrum, 3,8-17 mg/L for korn efterfulgt af en efterafgrøde og 5-42 mg N/l for korn efterfulgt af korn, når gødningstildelinger ligger under 208 kg N/ha, mens nitratkoncentrationen er større, 15-18 mg N/l for tre ud af fire observationer af korn efterfulgt af en efterafgrøde, når tildeling af handelsgødning er over 208 kg N/ha. Tildeling af handelsgødning er højere her, fordi der dyrkes vinterkorn til brød, som har en højere gødningsnorm for at sikre et højt proteinindhold.

Sammenligning af nitratudvaskning og de afstrømningsvægtede koncentrationer viser gennemsnitligt højere udvaskning men lavere nitratkoncentrationer for korn efterfulgt af en efterafgrøde end efterfulgt af vinterkorn for jordvand, henholdsvis 31 og 28 kg N/ha i udvaskning (Tabel 3.1.). Da den gennemsnitlige perkolation er højere for korn efterfulgt af en efterafgrøde end korn efterfulgt af korn, hhv. 250 mm mod 179 mm, bliver den afstrømningsvægtede nitratkoncentration lidt lavere, 14 mg N/l for efterafgrøde mod 16 mg N/l for korn efterfulgt af vinterkorn. Der kunne dog ikke påvises en signifikant forskel mellem de to dataserier.

For drænvand er den gennemsnitlige udvaskning lavere for korn efterfulgt af en efterafgrøde end korn efterfulgt af korn, hhv. 12 kg N/ha og 16 kg N/ha, men heller ikke her kunne der påvises en signifikant forskel. For den afstrømningsvægtede nitratkoncentration i drænvand er den gennemsnitlige koncentration lavere, 12 mg N/l, for korn efterfulgt af vinterkorn end den gennemsnitlige koncentration på 14 mg N/l for korn efterfulgt af en efterafgrøde, forskellen er ikke signifikant. Den lavere afstrømningsvægtede nitratkoncentration for korn efterfulgt af vinterkorn kan primært tilskrives en højere middelafstrømning for denne afgrødefølge på 131 mm/år mod 100 mm/år for korn efterfulgt af en efterafgrøde.

Da den gennemsnitlige perkolation og afstrømning ikke ens for de to afgrødekombinationer, hvor der bl.a. er flere observationer med høj perkolation for korn efterfulgt af en efterafgrøde end korn efterfulgt af vinterkorn, er relationen mellem perkolation og nitratudvaskning for jordvand samt mellem drænafstrømning og nitrattransport i dræn vist i figur 3.2. For drænvand ses en god relation mellem afstrømning og nitratudvaskning for både korn efterfulgt af vinterkorn ($R^2 = 0,77$) og for korn efterfulgt af en efterafgrøde ($R^2 = 0,65$), figur 3.2.B. For jordvand er relationen mellem perkolation og nitratudvaskning mindre med R^2 på 0,36 og 0,30 for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og en efterafgrøde. De forholdsvis gode relationer gør det rimeligt at opføre en middelværdi for perkolation og drænafstrømning for hele datasættet og anvende disse til at beregne en nitratudvaskning og nitrat dræntransport ved middelperkolation og drænafstrømning. Herved tages der højde for at perkolation og drænafstrømning ikke er ens i de to afgrødegrupper (se tabel 3.1.).

Tabel 3.1. Middel samt standardafvigelse (stdv.) for perkolation (Perk.), drænaftstrømning (Afst.), nitrat-udvaskning og dræntransport, afstrømnings-vægtet nitratkoncentration (Afst.v.konc.) og nitrat-udvaskning og -dræntransport ved middel for perkolation og ved middel for drænaftstrømning målt for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn eller en efterafgrøde. Data er opgjort for jordvand opsamlet med sugeceller og for drænvand. Alle data stammer fra landovervågningen. Alle kornafgrøder har fået tildelt handelsgødning under 208 kg N/ha.

Jordvand							Drænvand					
Aktuel perkolation							Aktuel afstrømning					
	Antal Obs	Perk. Middel mm	Udvaskning Middel (kg N/ha/år)	Stdv. Middel (mg N/l)	Afst.v. konc Middel (mg N/l)	Stdv.	Antal obs	Afst. Middel mm	Transport Middel (kg N/ha/år)	Stdv. Middel (mg N/l)	Afst.v. konc Middel (mg N/l)	Stdv.
Vinterkorn	31	179	27,6	16,2	15,8	8,0	21	131	16,4	10,2	11,7	3,7
Efterafgrøde	14	250	30,8	12,2	13,7	6,1	9	100	11,9	6,0	14,0	5,1
Middel perkolation							Middel afstrømning					
	45	214					30	115				
Vinterkorn	31		28,8				21		15,2			
Efterafgrøde	14		27,6				9		14,4			

4 Månedsværdier for afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer

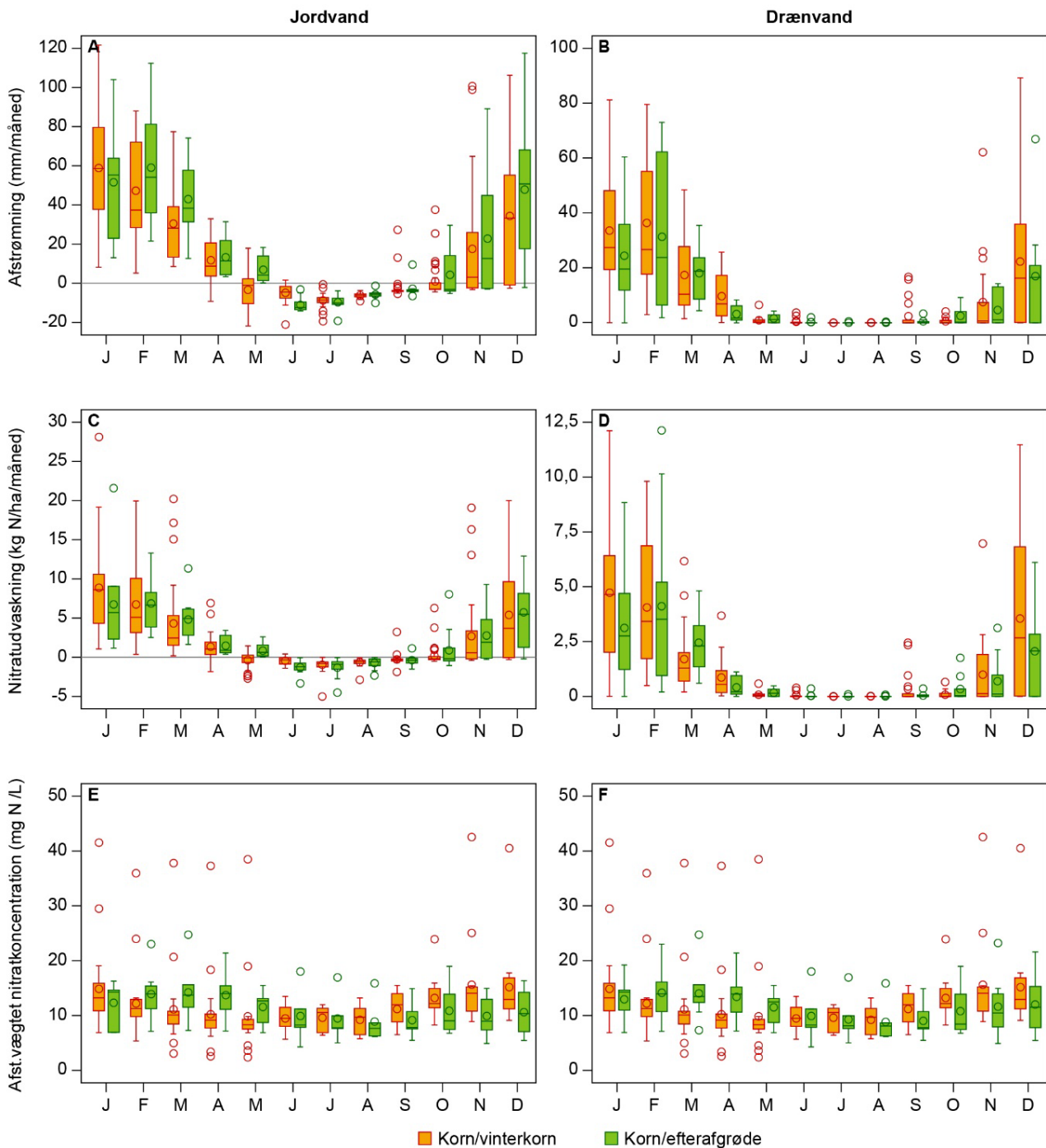
Gennemsnitlig afstrømning, nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer er opgjort for både drænvand og jordvand for hver måned for de to afgrødefølger korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og af efterafgrøder og vist som box-plot i figur 4.1. og som månedsmiddel i tabel 4.1. Af figuren ses, at både afstrømning og nitratudvaskning er størst i vintermånederne december, januar og februar, herefter aftager disse - dog stadig med relativt høje værdier i marts, en del lavere i april og med nærmest ingen afstrømning og nitratudvaskning i de øvrige forårsmåneder. Afstrømning og udvaskning er fortsat lav frem til november for jordvand og til december for drænvand. Som forventet starter afstrømningen før for jordvand, idet afstrømning fra rodzonen medfører, at grundvandsstanden stiger, og først når grundvandet 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 for nitratudvaskning og -koncentrationer, hverken for jord- eller drænvand.

Lavere koncentrationer i månederne oktober-december i afgrødefølgen med efterafgrøde er forventet, idet efterafgrøder under normale omstændigheder optager overskud af nitrat, mens vinterkorn ofte første etableres i september og ofte ikke når tilsvarende biomasse som efterafgrøderne i disse måneder. 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 vårsæden begynder at have en betydelig kvælstofoptagelse. Lidt afhængigt af temperatur mineraliseres den nedpløjede biomasse af efterafgrøder og kan eventuelt give anledning til øgede nitratkoncentrationer i februar og de første forårsmåneder. 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.

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 dræn kun omfatter i alt 31 observationer fordelt med 21 og ni med afgrødefølgen korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde.

De viste data og statistiske analyser viser dog, at effekten af efterafgrøder sammenlignet med effekten af 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. Herved vil sammenligningen mellem de to afgrødefølger følge samme år og dyrkningsforhold, hvilket som tidligere nævnt ikke forekommer i landovervågningen.

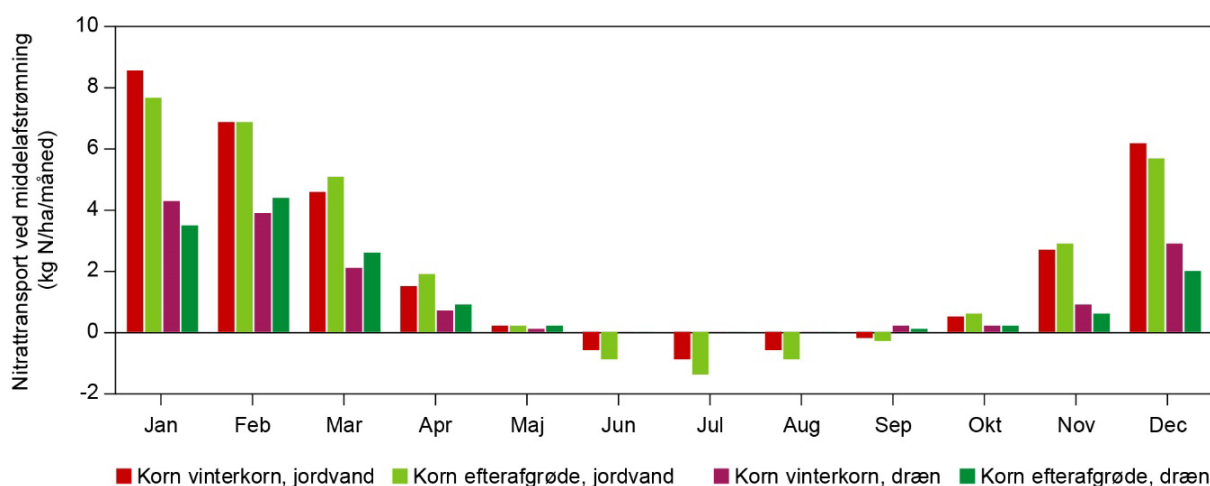


Figur 4.1. Box-plot af månedsværdier for aktuel perkolation (A), nitratudvaskning (C) og afstrømningsvægtet nitratkoncentration for jordvand (E) samt målt drænastrømning (B), nitrat dræntransport (D) og afstrømningsvægtet nitratkoncentration for drænvand (F) opdelt i de to afgrødefølger korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. Opgørelsen er gennemført for hydrologiske år, 1. juni-31. maj det følgende år. Den statistiske test viste, at der ikke er signifikant forskel på de viste månedsværdier.

I figur 4.2 vises nitratudvaskning for jordvand og transport for drænvand opgjort ved middelperkolation og middeldrænastrømning for hver måned. Nitratudvaskning ved middelperkolation for de to afgrødegrupper er stort set ens for de to måneder november og februar, lidt lavere for efterafgrøder i december og januar og lidt højere i marts end for korn efterfulgt af vinterkorn. Årsudvaskning af nitrat ved middelperkolation er stort set ens for de to afgrødegrupper, 27,6 kg N/ha for korn efterfulgt af en efterafgrøde og 28,8 kg N/ha for korn efterfulgt af vinterkorn (tabel 4.1.).

For dræn er nitrattransporten ved månedsmiddel for drænaflow lavere for efterafgrøder i november, december og januar, men højere i februar og marts end for korn efterfulgt af vinterkorn. Årsdræntransport af nitrat ved middelflow er stort set ens for de to afgrødegrupper, 14,4 kg N/ha for efterafgrøder og 15,2 kg N/ha for korn efterfulgt af vinterkorn.

I de opgjorte data indgår eftervirkning af efterafgrøder ikke specifikt idét landmanden har mulighed for at regulere, hvordan eftervirkningen skal indgå i forbrug af gødning enten året efter eller til andre afgrøder. Det skal tages forbehold herfor ved sammenligningen af data for de to afgrødekombinationer.



Figur 4.2. Månedsmiddel for nitratudvaskning for jordvand ved middelperkolation og nitrattransport ved middelflow for drænvand opdelt på afgrødefølgerne korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde. Opgørelsen er gennemført for hydrologiske år, 1. juni-31. maj det følgende år

Table 4.1. Middel månedsafstrømning, nitratudvaskning, afstrømningsvægtet nitratkoncentration og nitrattransport ved middelflow for jord- og drænvand opdelt på afgrødefølgerne korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde. Data er desuden plottet i box-plot i figur 4.

		jan	feb	marts	april	maj	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec	årssum
Afstrømning (mm)														
orn_Vi.korn	Jordvand	60,2	47,3	30,2	11,7	-4,2	-4,8	-8,4	-5,9	-2,0	0,7	17,5	36,2	179
Korn_efterafgr	Jordvand	57,1	56,7	45,5	15,5	7,4	-6,7	-8,5	-5,5	-2,2	7,6	26,7	56,6	250
Korn_Vi.korn	Dræn	33,6	36,4	17,3	9,8	0,9	0,4	0,0	0,0	2,5	0,6	7,5	22,4	131
Korn_efterafgr	Dræn	24,0	27,9	19,6	3,5	1,8	0,3	0,1	0,1	0,5	2,4	3,7	15,7	100
Middel	Jordvand	58,6	52,0	37,8	13,6	1,6	-5,8	-8,5	-5,7	-2,1	4,2	22,1	46,4	214
Middel	Drænvand	28,8	32,2	18,5	6,6	1,4	0,3	0,0	0,1	1,5	1,5	5,6	19,0	115
Nitrat udv. (kg N/ha/md)														
Korn_Vi.korn	Jordvand	9,3	6,8	4,4	1,3	-0,5	-0,5	-0,8	-0,6	-0,2	0,1	2,6	5,6	
Korn_efterafgr	Jordvand	7,0	7,0	6,2	2,1	1,0	-0,9	-1,5	-0,9	-0,4	1,5	3,5	6,2	
Korn_Vi.korn	Dræn	4,7	4,0	1,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	1,0	3,5	
Korn_efterafgr	Dræn	2,9	3,2	2,6	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	1,6	
Afstv. Nitratkonc. (mg N/l)														
Korn_Vi.korn	Jordvand	14,7	13,2	12,1	10,9	10,3	10,5	10,2	9,8	9,9	11,1	12,0	13,3	
Korn_efterafgr	Jordvand	13,2	13,3	13,4	14,0	14,1	15,7	16,4	16,2	16,1	14,5	13,2	12,4	
Korn_Vi.korn	Dræn	14,9	12,2	11,1	10,3	9,8	9,5	9,6	9,3	11,2	13,2	15,6	15,2	
Korn_efterafgr	Dræn	12,2	13,6	14,1	13,4	11,5	9,9	9,3	8,9	9,1	11,2	10,0	10,7	
Nitrat udv. og transport v. middelflow (kg N/ha)														
Korn_Vi.korn	Jordvand	8,6	6,9	4,6	1,5	0,2	-0,6	-0,9	-0,6	-0,2	0,5	2,7	6,2	28,8
Korn_efterafgr	Jordvand	7,7	6,9	5,1	1,9	0,2	-0,9	-1,4	-0,9	-0,3	0,6	2,9	5,7	27,6
Korn_Vi.korn	Dræn	4,3	3,9	2,1	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,9	2,9	15,2
Korn_efterafgr	Dræn	3,5	4,4	2,6	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,6	2,0	14,4

5 Konklusion

Årlige målinger af nitratudvaskning fra rodzonen på handelsgødet vår- og vinterkorn viste højere nitratudvaskning for korn efterfulgt af efterafgrøde end korn efterfulgt af vinterkorn, mens det omvendte var gældende for den afstrømningsvægtede nitratkoncentration. Ingen af disse forskelle er dog signifikante. I analysen indgik 31 årlige målinger af korn efterfulgt af vinterkorn og 14 årlige målinger af korn efterfulgt af efterafgrøde. Den gennemsnitlige nitratudvaskning udgjorde 28 og 31 kg N/ha for korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøder. De gennemsnitlige afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer for samme afgrødefølger udgjorde henholdsvis 15,8 og 14,0 mg N/l.

For 30 målinger i drænvand var der signifikant forskel ($P < 0,05$) på den afstrømningsvægtede nitratkoncentration, som gennemsnitlig var lidt lavere, 11,7 mg N/l, for korn efterfulgt af korn end gennemsnittet på 14,0 mg N/l for korn efterfulgt af efterafgrøde. Nitratudvaskning fra dræn var lidt lavere for korn efterfulgt af efterafgrøde, gennemsnitlig 11,9 kg N/ha mod 16,4 kg N/ha for korn efterfulgt af vinterkorn, men forskellen var ikke signifikant.

For månedsværdier er der ikke er signifikant forskel på nitratudvaskning og dræntransport og ej heller for afstrømningsvægtet nitratkoncentration opgjort for jordvand eller drænvand.

Årsudvaskning af nitrat ved middelperkolation er stort set ens for de to afgrødegrupper, 27,6 kg N/ha for korn efterfulgt af en efterafgrøde og 28,8 kg N/ha for korn efterfulgt af vinterkorn. Årsdræntransport af nitrat ved middelaftstrømning er stort set ens for de to afgrødegrupper, 14,4 kg N/ha for korn efterfulgt af en efterafgrøde og 15,2 kg N/ha for korn efterfulgt af vinterkorn. I de opgjorte data indgår eftervirkning af efterafgrøder ikke specifikt, idét landmanden har mulighed for at regulere, hvordan eftervirkningen skal indgå i forbrug af gødning enten året efter eller til andre afgrøder. Det skal tages forbehold herfor ved sammenligningen af data for de to afgrødekombinationer.

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 dræn kun omfatter 22 og ni hydrologiske år med afgrødefølgen korn efterfulgt af henholdsvis vinterkorn og efterafgrøde. De viste data og den statistiske analyser viser dog, at effekten af efterafgrøder sammenlignet med effekten af 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, så sammenligningen mellem de to afgrødefølger følger samme år og dyrkningsforhold.

6 Referencer

Blicher-Mathiesen, G. 2022. Notat om nitratudvaskning og nitratkoncentrationer i jord og drænvand 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

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M., Wienke, J., Petersen, J., Andersen, H.E., Frederiksen, R.F., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L. 2024. Landovervågningsoplande 2024. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt center for Miljø og Energi, 294s. - Videnskabelig rapport nr. 628. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR628.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>

Frederiksen, R.R., Larsen, S.E., Blicher-Mathiesen, G. & Kronvang, B. (2023). Development and application of a parsimonious statistical model to predict tile flow in minerogenic soils. *Agri. Water Management* 281: 108244. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108244>

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

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>

Thorsen, M. & Blicher-Mathiesen, G. (2023). Afstrømning og kvælstofkoncentrationer i jord-, dræn og grundvand. Målinger fra landovervågningen. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 93 s. Fagligt notat nr. 2023|58. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2023/N2023_58.pdf

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.

Appendix

Table A1. Kornafgrøde, forfrugt og kvælstofinput (Handelsgødning, Han; deposition, Dep., N-fiksering, Nfiks og -frårsel med høst samt afstrømning, perkolation, Perk., nitratudvaskning og afstrømningsvægtede nitratkoncentrationer i jord- og drænvand for korn efterfulgt af vinterkorn.

Korn vinterkorn	Afgrøde	Forfrugt	stnr	hyd. år	Jordvand			Dræn			Balance	Dep.	Såsåed (kg N/ha/år)	Nfiks.	Han	Høst
					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	Fabriksroer		103	202122	112	22,0	19,7	171,8	22,6	13,2	32,8	13	2	2	143	127
Vårbyg	Fabriksroer		107	202122	119	11,1	9,4	128,2	10,3	8,1	30,7	13	2	2	134	120
Vårbyg	Vårbyg		406	202021	119	11,4	9,6	26,6	5,2	19,6	60,8	13	2	2	142	98
Vårbyg	Vinterhvede		406	202122	166	14,9	8,9	75,4	11,0	14,6	102,1	13	2	2	172	87
Vårbyg	Vårbyg		105	202223				93,0	9,5	10,2	33	11	2	2	118	124
Vinterhvede	Vårbyg		106	202122				87,6	10,9	12,4	42	13	2	2	208	183
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 A2. 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	Jordvand			Dræn			Balance	Dep.	Såsåed (kg N/ha/år)	Nfiks.	Han	Høst
				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)						
Vinterhvede	Vinterkorn	103	201920	175	29,4	16,8	79,4	7,1	9,0	39	14	2	2	186	149
Vårbyg	Vårkorn	406	201819	127	20,6	16,3	32,5	7,9	24,3	40	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	23	13	2	2	138	117
Vinterhvede	Vårkorn	103	200405	164	16,8	10,3	126,0	16,1	12,8	47	15	2	2	196	151
Vinterhvede	Vårkorn	105	201516	179	19,1	10,6	247,6	17,6	7,1	37	14	2	2	165	130
Vinterhvede (brød)	Vårkorn	103	200102	322	35,6	11,0	189,9	26,4	13,9	45	16	2	2	195	152
Vårbyg	Fabriksroer	105	200809	124	29,7	24,0				38	18	2	2	120	104
Vinterhvede	Vinterkorn	105	202021				18,6	2,2	12,0	38	13	2	2	203	183
Vinterhvede	Vårkorn	107	202223				128,2	10,8	8,1	42	13	2	2	208	179
Vinterbyg	Vårkorn	401	201516	373	21,6	5,8				-9	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				15	14	2	2	119	106

Table A2 continued. Ager, forfrugt, type af efterafgrøde og tidspunkt for opløjning samt monitorering i jord- og drænvand eller kun jordvand for agerdekombinationen korn efterfulgt af en efterafgrøde

Korn efterafgrøde						
Ager	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
Vinterhvede	Vinterhvede	105	202021	E.afg bl. rug/vårbyg/korsbl./h	5. nov.	Drænvand
Vårbyg	Fabriksroer	105	200809	E.afg korsblomstr.(nedm.)	1. nov.	Jordvand
Vinterhvede	Vårkorn	107	202223	Pl. e.afg korsblomstr.(nedm.)	1.dec.	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