

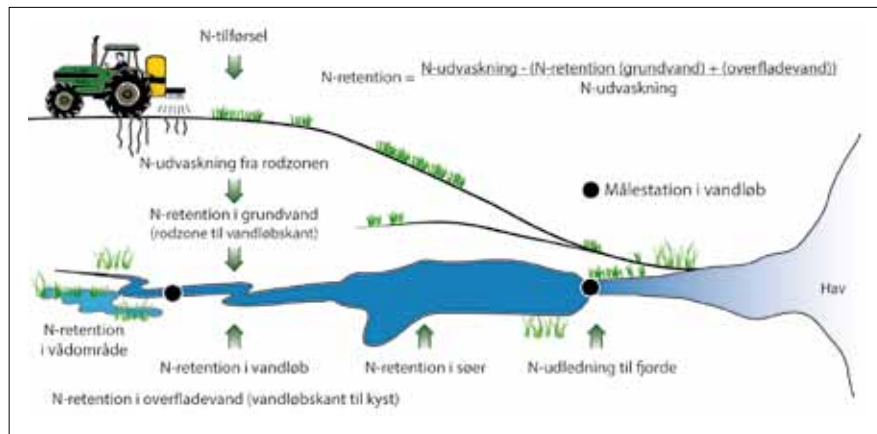
Vand og kvælstof fra mark til fjord

På baggrund af målinger kan virkemidler placeres på marker og i oplande med stor kvælstofudledning til vandløb og kyst. Herved opnås en stor effekt af virkemidler. Det viser studier i tre pilotoplande. Det er også vist, at for fire drænoplande findes en god sammenhæng mellem det målte indhold af uorganisk kvælstof i rodzonen om efteråret og kvælstoftransporten i drænene den efterfølgende vinter.

GITTE BLICHER-MATHIESEN, HENRIK TORNBJERG, KRISTOFFER PIIL, BO VANGSØ IVERSEN, JANE R. POULSEN, SOFIE VAN'T VEEN, BRIAN KRONVANG, ANKER LAIER HØJBERG & SØREN KOLIND HVID

I Emissionsprojektet /1/ er der gennemført detaljerede målinger i jord, dræn og vandløb med det formål at undersøge, om målinger kan give virkemidler en bedre effekt og økonomi, når virkemidler skal målrettes. Formålet med at målrette virkemidler er at reducere udledningen af kvælstof til kystvande på den mest effektive måde. Ideen er at placere virkemidler som efterafgrøder, vådområder og bufferzoner langs vandløb i oplande, hvor effekten af virkemidlerne er størst. Retentionen, dvs. hvor meget af rodzonens udvaskede kvælstof, der fjernes under transporten mod kysten, varierer imidlertid fra mark til mark og fra opland til opland. Hvis markens eller oplandets retention er lille, vil en stor andel af rodzonens kvælstof nå frem til kysten og vice versa. Derfor er der økonomisk gevinst i at målrette virkemidler til de marker og oplande med relativ stor kvælstofudledning til vandløb og kyst.

Helt centralt for effekten og økonomien er, at retentionen er opgjort præcist. I tre pilotoplande er der hertil gennemført målinger af kvælstoftransporten i dræn og vandløb, der afvander oplandene /2,3/. Målingerne, der præsenteres i denne artikel, viser, at retentionen og dermed effekten af virkemidler varierer betydeligt imellem oplande og at reten-



Figur 1. Kvælstof fra mark til fjord. Kvælstof retention både i grundvand og overfladevand.

tion kan være anderledes end forventet, når vandløbstransporten af kvælstof er målt frem for modelberegnet. Studiet viser, at kvælstofudledning til vandløb kan reduceres mere effektivt ved at virkemidler i højere grad placeres i oplande, hvor det med målinger vises, at en stor andel af rodzonens kvælstof når frem til kysten. Udledningen kan desuden reduceres ved at omfordele afgrøder, så dyrkning, der giver lav udvaskning fra rodzonen, i højere grad foregår på drænedede marker med stort bidrag af kvælstof til vandløb (lav retention), mens dyrkning, der giver høj udvaskning, foregår på ikke-drænedede marker (som alt andet lige har højere retention).

Udledning og retention

Hvor meget kvælstof, der fjernes mellem rodzone og kyst, er helt centralt for hvor meget af rodzoneudvaskningen, der når frem til kysten /4/. Under kvælstoftransport mellem rodzone

og kyst sker der en større eller mindre fjernelse af kvælstof. Dette foregår hovedsagelig gennem denitrifikation, hvorved nitrat omdannes til frit kvælstof. Det fjernede kvælstof benævnes retention. Retention i grundvand beregnes ved at opgøre den mængde kvælstof, der fjernes mellem bunden af rodzonen og kanten af vandløb i forhold til den samlede udvaskning fra rodzonen. Retention i overfla-

Tabel 1. Fordeling af landets areal i forhold til hvor stor en procent af kvælstofudvaskningen fra rodzonen, der udledes til kysten.

Udledning til kyst (%)	Retention (%)	Andel af landets areal (%)
<20	> 80	4
20-39	61-80	19
40-59	41-60	48
>60	<40	29

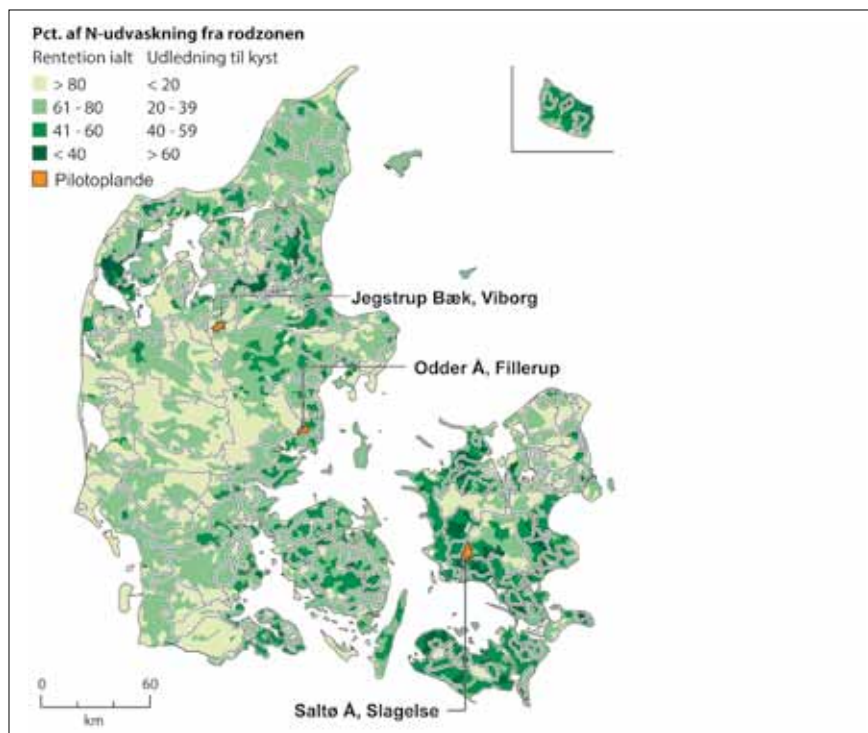
devand foregår fra vandløbskanten og ud til kysten (Figur 1). Ved at måle kvælstoftransport i vandløb kan der derved foretages en beregning af kvælstofretention, som kan være anderledes end hvis kvælstoftransport er beregnet med en model /4, 5/. I dette projekt er retentionen i begge tilfælde opgjort med udgangspunkt i en modelberegnet kvælstofudvaskning fra rodzonen.

Et oplands kvælstofudledning kan variere fra næsten 0 til over 60 pct. af kvælstofudvaskningen fra rodzonen (Figur 2). Knap en tredjedel af hele landets areal udgøres af oplande med en gennemsnitlig retention på under 40 pct. (Tabel 1). I disse oplande fjerner retentionen altså kun en lille andel af nitratudvaskningen, og derfor har virkemidler på dyrkningsfladen gennemsnitlig for oplandet en stor effekt på kvælstofudledningen til kysten. I disse oplande vil omkostningen pr. kg mindre udledt kvælstof derfor være relativt lavere.

Det nationale kvælstofretentionskort er behæftet med en betydelig usikkerhed på den samlede retention, som i gennemsnit for alle ID15 oplande er angivet til +/- 19 procentpoint /5/. Vandløbstransporten af kvælstof er målt for ca. 50 pct. af landets areal og modelberegnet for den resterende del (Figur 3). Men en del af målingerne er udført i store oplande, så reelt er kun ca. 2 pct. af landets 3.135 ID15 oplande målt på en skala, hvor oplandets areal svarer til ID15 skalaen på gennemsnitlig ca. 15 km². For de øvrige 98 pct. af ID15 oplandene er retentionen modelberegnet. For ID15 oplande, der ligger i et større målt opland er vandløbstransporten af kvælstof kalibreret, så transporten samlet for det store målte opland rammer resultatet for oplandets målestation. Måltretning af virkemidler som efterafgrøder, vådområder og bufferzoner langs vandløb kan dermed blive mere effektiv, hvis retentionen opgøres mere præcist på mindre skala. Det vil kræve flere målinger i vandløb og eventuelt også i dræn.

Grøn, gul og rød

Som en del af projektet blev der udarbejdet et landsdækkende trafiklyskort, der viser om vandløb i et ID15 opland opfylder en række hydrologiske krav, som gør vandløbet potentielt egnet til at måle kvælstofemissionen til vandløb fra dyrkede arealer og hvor transporten af kvælstof kan opgøres med en acceptabel sikkerhed på ID15 niveau /6/. Der blev anvendt fire hydrologiske kriterier for et oplands egnethed til vandløbsmålinger: i) Tilvækst i vandafstrømning over et ID15 opland. Er tilvæksten i afstrømningen lav skal der gennemføres urealistisk mange målinger for at bestemme tilvæksten. ii) Tætheden af vandløb

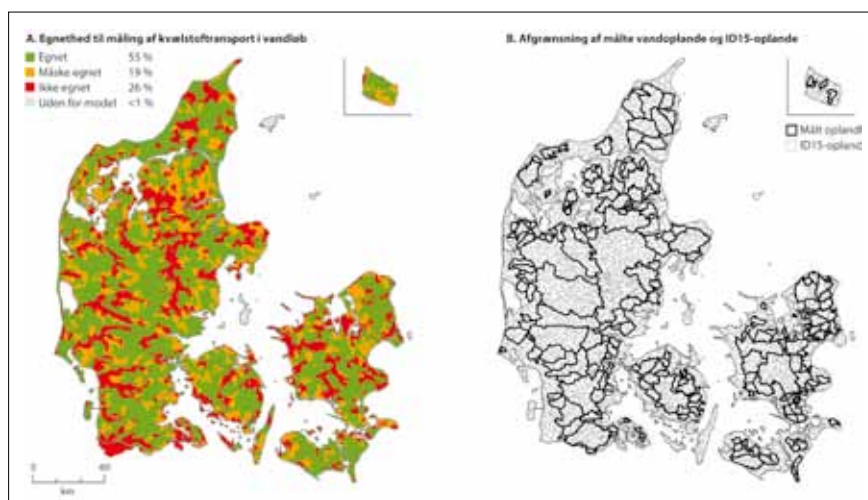


Figur 1. Kvælstof fra mark til fjord. K Figur 2. Landsdækkende kort over samlet kvælstofudledning og retention (A) og kvælstofretention i overfladevand (B) begge i pct. af nitratudvaskning fra rodzonen. vækstretention både i grundvand og overfladevand.

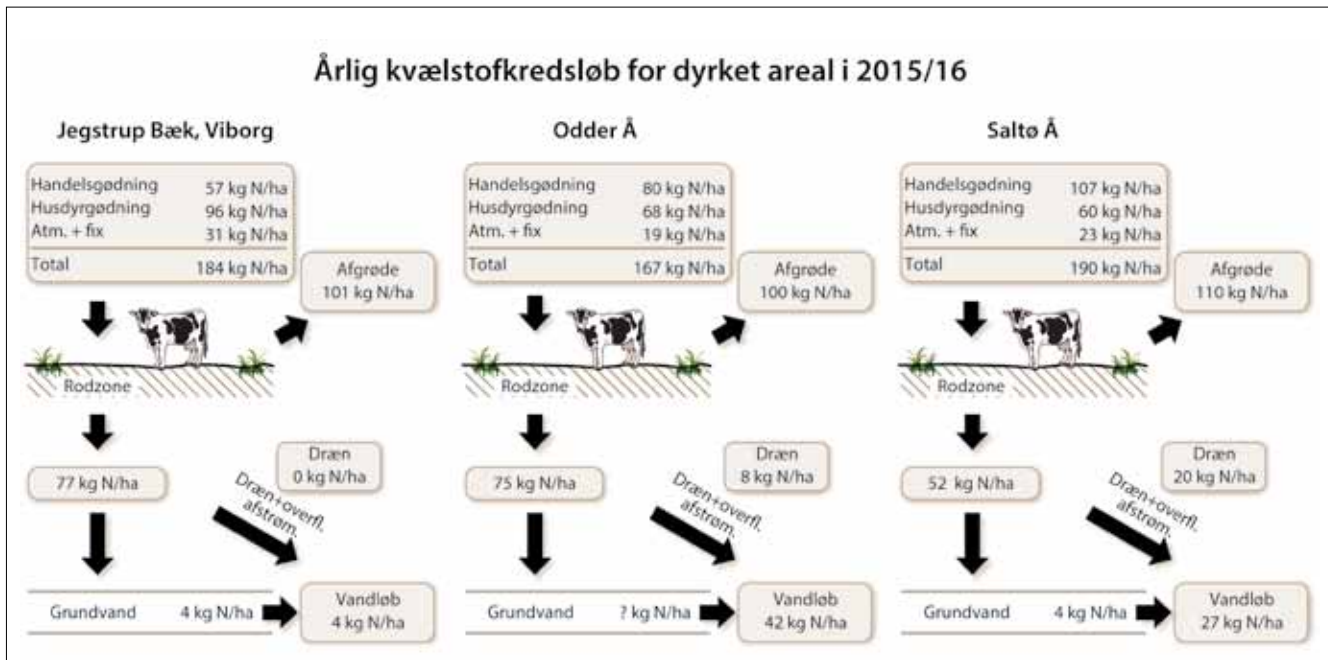
i de kystnære ID15 oplande. Hvis tætheden er lille (< 1,41 km/km²) vil der forventeligt være en stor grundvandsudstrømning til kysten, så en stor del af kvælstofemissionen kan risikere at ske med grundvandet uden om vandløb. iii) Alder af det iltede og nitratbærende grundvand. Oplande, hvor det tager mere end 12 år inden 90 pct. af det iltede grundvand når frem til vandløbet, vil ikke være egnet til en monitoring, da det vil tage for lang tid at bestemme emissionen og vurdere effekten af virkemidler på kvælstoftransporten i vandløbet. iv) Grundvandsudsivning under ID15 oplandsgrænsen til andre oplande. Det er med DK-modellen

blevet undersøgt, om transporten af iltet grundvand overstiger 5 pct. af den samlede grundvandstransport fra det enkelte ID15-opland. Ingen af de 3.135 ID15 oplande i det nationale retentionskort oversteg denne grænse. Med de fire kriterier dækker de måleegne ID15 oplande 55 pct. af landet areal (Figur 3).

Det er i alle tilfælde nødvendigt at udføre en visuel inspektion af vandløbsforholdene for at fastlægge, om hydrometrstationer kan oprettes, uden at vandføringen bliver påvirket af tidevand og vindstuvning. Og om der eventuelt kan anvendes ekstra måleudstyr, som gør måling muligt trods disse vanskeligheder.



Figur 3. Trafiklyskort som viser hvilke id15-oplande, der er egnet til at måle vandløbets kvælstoftransport med en økonomisk overkommelig målefrekvens og samtidig sikkerhed på den opgjort transport. Grøn, gul og rød farver viser henholdsvis velegnede, måske egnede og ikke egnet til målinger.



Figur 4. Kvælstofstrømme for det dyrkede areal i tre oplande i det agrohydrologiske år 2015/16. Udvaskning er modelberegnet, vandløbstransporten er målt mens transport i dræn ikke dækker alle dræn i oplandet, da der kun er målt på kun et enkelt drænopland i Odder Å og på 4 i oplandet til Saltø Å

For mange af de måle-egnede ID15 oplande er vandløbets kvælstoftransport i dag modelberegnet (Figur 3B). Det kan gøre en stor forskel, om retentionen er opgjort på baggrund af målt eller modelberegnet vandløbstransport af kvælstof.

Fra mark til fjord

Kvælstofkredsløbet er opstillet for det dyrkede areal for 3 pilotoplade, som er undersøgt i emissionsprojektet (Figur 4). Data for gødningsforbrug stammer fra landmændenes indberetning af gødningsregnskaber for 2015. Kvælstof fjernet med de høstede afgrøder er beregnet på grundlag af normudbytter og normal for afgrøders kvæstofindhold. Udvaskning er beregnet med den empiriske model NLES4 og opgjort for det agrohydrologiske år fra 1. april 2015 til 31. marts 2016. Den målte kvælstoftransport i vandløb er opgjort for samme periode og her vist som bidraget fra det dyrkede areal. Herved kan grundvandsretention baseret på en målt

vandløbstransport opgøres for året 2015/16.

I oplandet til Jegstrup Bæk tilføres der i alt 184 kg N/ha med gødning, kvæstoffiksering og via atmosfærisk deposition. Den modelberegnete udvaskning fra rodzonen udgør 77 kg N/ha, mens udledningen til vandløbet er målt til 4 kg N/ha. I dette opland når kun 5 pct. af kvælstofudvaskningen fra rodzonen frem til vandløbet. I oplandet til Odder Å tilføres knap så meget, nemlig 167 kg N/ha. Udvaskningen fra rodzonen er beregnet til 75 kg N/ha, mens udledningen til vandløbet er målt til 42 kg N/ha. I oplandet til Saltø Å tilføres der 190 kg N/ha, der udvaskes 52 kg N/ha og den målte udledning til vandløbet udgør 27 kg N/ha. I modsætning til Jegstrup Bæk oplandet når godt halvdelen af kvælstofudvaskningen fra rodzonen frem til vandløbet i de to østdanske oplande, Odder Å og Saltø Å. Begge oplande har en forholdsvis stor overfladenær transport til vandløbet via dræn.

Retention og virkemidler

Kvælstoftransporten har ikke hidtil været målt i de tre pilotoplade, og der forelå således for måleprojektet udelukkende en modelberegnet retention. For oplandet til Jegstrup Bæk er den modelberegnete grundvandsretention 77 pct., mens der er en betydelig højere retention på 95 pct., når retentionen beregnes ud fra vandløbsmålingerne i 2015/16 (Tabel 2). For oplandet til Odder Å er de tilsvarende tal henholdsvis 70 og 44 pct., og for oplandet til Saltø Å henholdsvis 36 og 48 pct. De viste tal for grundvandsretentionen er baseret på målt vandløbstransport for et enkelt år.

Grundvandsretentionen baseret på målinger i vandløb og baseret på model for vandløbstransporten viser så store afvigelser for året 2015/16 med nogenlunde gennemsnitlige vejrforhold, at der er gode grunde til at få opgjort en mere præcis retention baseret på målinger. Med måledata for vandløbstransporten for et enkelt år er det vist, at den samlede retention som gennemsnit kan afvige op til 13 procentpoint i forhold til retentionen opgjort med 20 års data. Det er primært fordi, at der over 20 år indgår år med både høj og lav nedbør og at 20 års data inkluderer år til år variation og en eventuel tidforsinkelse i transporten til vandløbet /8/. Måleresultaterne viser derfor især den store forskel imellem de tre pilotoplade. Målinger i vandløb kan give en mere præcis retention, men det kræver flere års målinger.

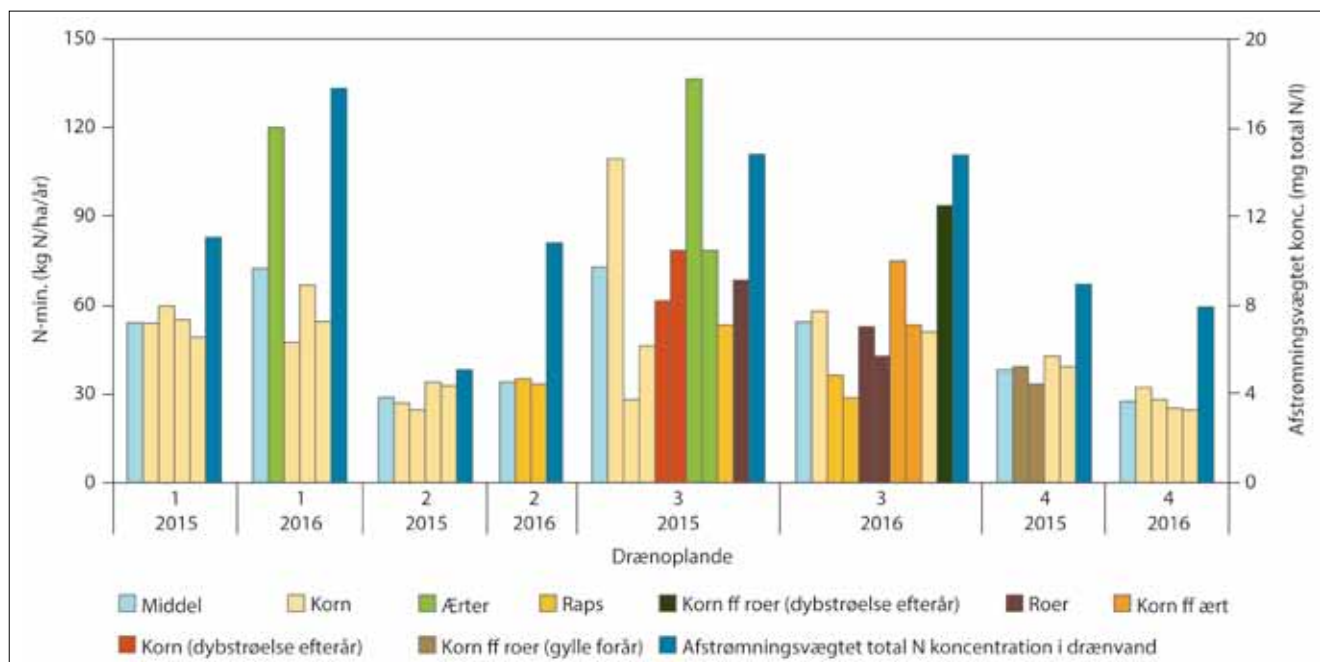
Virkemidler i oplandet til Jegstrup Bæk vil have en meget lille effekt på kvælstofudledningen til Hjarbæk Fjord, da kun 5 pct. af rodzoneudvaskningen når frem til vandløbet. Derimod vil virkemidler på dyrkningsfladen i oplandet til Odder Å og Saltø Å gennemsnitligt slå meget igennem, da henholdsvis 56 og 52 pct. af rodzoneudvaskningen når frem til vandløbet. Derfor vil effekten af efterafgrøder være knap 10 gange mere effektiv i oplandet til Saltø Å end i oplandet til Jegstrup Bæk.

Måling af kvælstof i jord og transport i dræn

Helt afgørende for de høje udledningsprocenter i de to østdanske oplande er drænbidraget. I Saltø Å opland blev drænvandets

Boks 1. N-min, mængden af nitrat og ammonium i jord

Jordens indhold af uorganisk kvælstof, her nitrat og ammonium blev målt i oktober. Til hver jordprøve blev der udtaget ned til 100 cm under terræn /h/. Der blev udtaget 16 stik i hver af 7, 6, 18 og 8 transekter, hvor markerne var placeret i henholdsvis drænopland 1-4. Hver mark repræsenterer ca. 5 ha af det dyrkede areal i oplandet /8/



Figur 5. N-min. målt som nitrat og ammonium indholdet i jord og vist for målte marker med forskellige afgrøder og forfrugt i fire drænoplande for de to år 2015 og 2016.

Tabel 2. Kvælstofretention i 3 pilotoplande opgjort på grundlag af modelberegninger og målinger i vandløb.

	Modelberegnet 1990-2010			Baseret på målt vandløb 2015/16		
	Retention (%)			Udvaskning (kg N/ha/år)	Vandløb (kg N/ha/år)	Retention (%) Grundvand
	Total	Grundvand	Overfladevand			
Jegstrup Bæk	79	77	8	77	4	95
Odder Å	78	70	27	75	42	44
Saltø Å	41	36	9	52	27	48

transport af total kvælstof målt i fire drænoplande. Målingerne blev opdelt i afstrømningsperioden 1. december til 28. februar i de to år, 2015/16 og 2016/17.

I de samme fire drænoplande blev indholdet af ammonium og nitrat (N-min) i rodzonen målt på alle marker i de to relevante efterår 2015 og 2016. På markerne blev der dyrket vårbyg, vinterhvede, vinterraps, sukkerroer og ærter enten som hovedafgrøde eller som forfrugt. Ikke alle de nævnte afgrøder var

repræsenteret i alle drænoplande (Figur 5).

Forskelle mellem marker

Resultatet af målingerne viste, at der var forholdsvis stor forskel på markernes gennemsnitlige indhold af uorganisk kvælstof (N-min) imellem de fire drænoplande. I 2015 var jordens indhold af N-min størst (73 kg N/ha) i drænopland nr. 3, men i 2016 var det højeste indhold af N-min på 72 kg N/ha i drænopland nr. 1. Det var derfor ikke de samme drænoplande, der havde henholdsvis et højt og et lavt indhold af uorganisk kvælstof i jorden de 2 år. Forskellene i markernes indhold af uorganisk kvælstof kan relateres til lave værdier for raps og korn og til høje værdier, hvor der var ærter eller ærter var forfrugt til korn. Et højt indhold af N-min blev også målt på marker, der fik en relativt stor mængde dybstrøelse i november året før målingen af N-min, og hvor der derfor i måleåret var en stor eftervirkning af det omsatte organiske stof i gødningen.

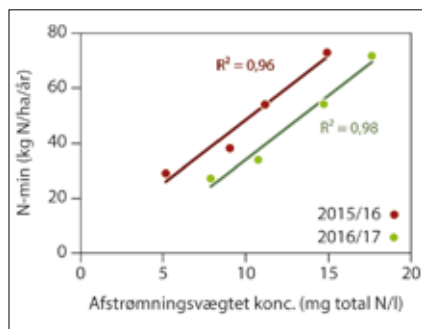
Kvælstof i jord og dræn

De store målte forskelle i jordens indhold af

uorganisk kvælstof i efteråret kan genfindes som forskelle i drænenes transport af kvælstof (Figur 6). Der er registreret en meget god sammenhæng med en korrelationskoefficient (R^2) på 0,96 og 0,98 for de 2 afstrømningsår 2015/16 og 2016/17. Desuden ses, at selvom jordens indhold af uorganisk kvælstof ligger på samme niveau i de to år er den afstrømningsvægtede totale kvælstofkoncentration ca. 4 mg N/l højere i det forholdsvis tørre år 2016/17 end i det meget fugtige år 2015/16.

Konklusion og perspektivering

Med målinger i vandløb kan der opnås en større sikkerhed på bestemmelsen af retentionen og dermed på effekten af virkemidler. Med målinger i vandløb kan virkemidler målrettes mere præcist mod oplande med stor kvælstofudledning til kyst. En mere præcis bestemmelse af retention forudsætter, at der gennemføres målinger i vandløb i flere år. Anvendelsen af virkemidler som efterafgrøder, vådområder og bufferzoner langs vandløb kan blive mere effektiv, hvis retention opgøres mere præcist og på mindre skala. Mange små



Figur 6. Sammenhæng mellem målt N-min i jord og dræns totale kvælstoftransport for fire drænoplande for afstrømningsperioden 1. dec.-28. feb. i 2015/16 og 2016/17.

vandløbsoplande er velegnede til at blive målt, også oplande, hvor der i dag ikke måles. Den viste gode sammenhæng mellem målt kvælstof i jord om efteråret (N-min) og kvælstoftransporten i dræn peger på, at afgrøder med lav udvaskning med fordel i højere grad kan dyrkes på drænedede marker, hvor der udledes en stor andel af rodzonens kvælstof til vandløb og kyst. Herved kan kvælstofudledningen til kysten reduceres mere omkostningseffektivt.

Referencer

- /1/ Hvid, S.K. Projektid og pilotoplande. Vand & Jord, 2018, nr. 4.
- /2/ van't Veen, S.G.W., Tornbjerg, H., Windolf, J., Kjeldgaard, A., Ovesen, N-B. Poulsen, J.R., og Kronvang, B. Hvordan måles i vandløb? Vand & Jord, 2018, nr. 4.
- /3/ Iversen, B.V. Drænmålinger i Saltø Å oplandet. Vand &

- Jord, 2018, nr. 4.
- /4/ Blicher-Mathiesen, G., Bøgestrand, J., Kjeldgaard, A., Ernsten, V., Højbjerg, A.L., Jakobsen, P.R., von Planten, F., Tougaard, L. & Børgesen, C.D. 2007. Kvælstofreduktion fra rodzone til kyst for Danmark. Faglig rapport fra DMU nr. 616.
- /5/ Højbjerg, A.L., Windolf, J., Børgesen, C.D., Troldborg, L., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang, B., Thodsen, H. og Ernsten 2015: National kvælstofmodel, Oplandsmodel til belastning og virkemidler- Metoderapport. GEUS, DCE og DCA, Aarhus Universitet.
- /6/ Poulsen J.R., Tornbjerg H., Windolf J., Larsen S.E., Kronvang B., Højbjerg A.L. 2016: Vandløbsmålinger som grundlag for emissionsbaseret kvælstofregulering, Institut for BioScience, Aarhus Universitet.
- /7/ van't Veen, S.G.W., Kjeldgaard, A., Tornbjerg, H., Windolf, J., Blicher-Mathiesen, G., og Kronvang, B. Et kvælstofudledningskort. Vand & Jord, 2018, nr. 4.
- /8/ Udfordringer ved estimering af lokal nitratretention.

2018: Christensen, I., Højbjerg, A.L. Vand & Jord, 2018, nr. 4.

- /9/ N-min varierer med afgrøde og dyrkningshistorie. Lemming, C., Pii, K., Trénel, P. & Hvid, S.H. Vand & Jord, 2018, nr. 4.

GITTE BLICHER-MATHIESEN () er seniorrådgiver, HENRIK TORNBERG er akademisk medarbejder, SOFIE G. W. VAN'T VEEN er videnskabelig assistent, BRIAN KRONVANG er professor, alle ved Bioscience, Aarhus Universitet.

KRISTOFFER PIIL er specialkonsulent, og SØREN KOLIND HVID er landskonsulent, begge ved SEGES.

BO VANGSØ IVERSEN er seniorforsker ved Agroøkologi, Aarhus Universitet.

ANKER LAIR HØJBERG er Seniorforsker ved GEUS.

JANE R. POULSEN er projekt manager ved EnviDan A/S.



Jegstrup Bæk ved Viborg. Foto: Sofie W. van't Veen