

# Hvordan måles kvælstof i vandløb?

Målretning af kvælstofindsatsen kan ske på basis af målinger af kvælstoftransport i vandløb. Men hvor ofte skal der måles for at få års- og månedstransporten af kvælstof bestemt med en acceptabel nøjagtighed?

SOFIE G. W. VAN'T VEEN, HENRIK TORNBJERG, JØRGEN WINDOLF, ANE KJELDGAARD, NIELS B. OVESEN, JANE R. POULSEN & BRIAN KRONVANG

Kvælstofemissionen fra dyrkede arealer til overfladevand kan beregnes ved at bestemme kvælstoftransporten i vandløb ved en målestation. Målestationen integrerer tabet af kvælstof fra alle kilderne i det hydrologiske opland til vandløbet /1/. I Landbrugspakken fra december 2015 foreslås det på sigt, at der indføres en ny emissionsbaseret reguleringsstrategi, hvor landmændene selv kan tage ansvaret for at måle deres kvælstofudledninger, så længe de følger en standardprøveprotokol og leverer deres data til den offentlige database ODA/1/.

Nærværende artikel indeholder resultater fra et GUDP projekt /2/, hvor det er undersøgt, hvor hyppigt der skal måles vandføring og kvælstofkoncentration for at få bestemt den årlige kvælstoftransport inden for en nøjagtighed på  $\pm 10\%$ . Undersøgelsen bygger dels på resultater fra hyppige målinger i 3 mindre vandløbsoplande og dels på en mere overordnet analyse af eksisterende data på landsplan. I denne artikel bestemmes for første gang, hvor sikkert kvælstoftransporten kan beregnes på månedsbasis ud fra målinger i vandløb. Konceptet bag bestemmelse af kvælstoftransporten fra et opland fremgår af boks 1.

## Måledesign og –metoder

I november 2014 blev der etableret en hovedmålestation i 3 mindre vandløb, som hver repræsenterer forskellige hydrologiske regimetyper i ID15 oplande /2/. Målestationerne blev etableret i henholdsvis Jegstrup Bæk (ved Viborg i Midtjylland), Odder Å (ved Odder i Østjylland) og Saltø Å (ved Slagelse i

## BOKS 1

### Udfordringen ved bestemmelse af kvælstoftransporten

Kvælstoftransporten i et vandløb beregnes normalt ud fra viden om døgnmiddelvandføringen ved en målestation og udtag af vandprøver som punktprøver, hvor koncentrationen af kvælstof (oftest total N og nitrat-N) er analyseret /3/.

Siden overvågningen af kvælstoftransporten i vandløb startede i 1960'erne, har metoden til bestemmelse af kvælstofkoncentrationen været baseret på udtag af vandprøver som punktprøver med en nærmere fastlagt frekvens /4/. Til beregning af den årlige kvælstoftransport i et vandløb, er det derfor nødvendigt at foretage en interpolation mellem målepunkterne. Den benyttede metode i det landsdækkende miljø- og naturovervågningsprogram (NOVANA) er en simpel 'lineær interpolationsmetode' ud fra følgende formel /5/ /3/:

$$\text{Transport af kvælstof} = k \sum_{i=1}^n Q_i * C_i$$

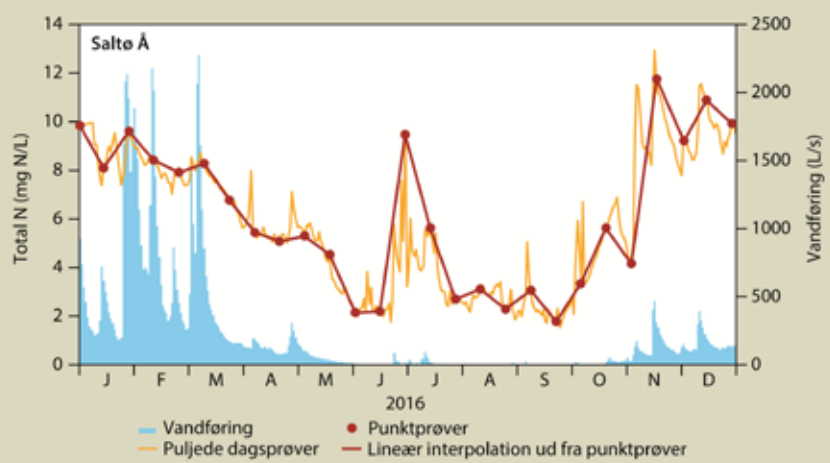
Hvor:

$k$  = En konstant til omregning af enheder for at få transporten bestemt i f.eks. kilogram.

$Q_i$  = Daglig vandføring (l/s)

$C_i$  = Den daglige lineært interpolerede stofkoncentration (mg/l)

Figuren illustrerer betydningen af, hvor ofte der er udtaget punktprøver, så beregningen af de daglige kvælstofkoncentrationer ikke fører til for store over- eller underestimeringer af kvælstoftransporten i forhold til den "sande" transport. Figuren viser et eksempel fra Saltø Å år 2016, hvor punktprøverne er udtaget hver fjortende dag.



Vestsjælland). Se en nærmere beskrivelse af oplandene i /2/. I Jegstrup Bæk blev der udført målinger frem til oktober 2016, som der ved dækker et kalenderår, mens målingerne i Odder Å og Saltø Å forløb frem til marts 2018, i alt 3 kalenderår.

Der blev oprettet en hydrometrystation ved alle 3 hovedstationer med kontinuert (10 minutters) registrering af vandstand (H) med tryktransducer. Øjebliksmålinger af vandføringen (Q) blev foretaget ugentligt i 2014 og 2015 og hver 14. dag i 2016-18. Døgnmiddelvandføringen kan derfor beregnes ud fra en opstillet Q-H relation /3/. For at kunne bestemme den "sande" kvælstoftransport, blev der med en automatisk ISCO-prøvetager med køling udtaget en vandprøve hver 3. time. Prøverne blev puljet til døgnprøver, som blev analyseret for total-N og nitrat-N.

I perioderne januar til april 2017 og september 2017 til marts 2018 blev der i Saltø Å etableret en sensor til kontinuert (5 minutters interval) måling af nitrat-N koncentrationen i vandløbet (Nitratx plus HACH). Desuden blev sensoren testet i en kortere periode i Jegstrup Bæk.

På baggrund af de daglige målinger i de 3 vandløb, blev bestemmelsen af den årlige og månedlige kvælstoftransport evalueret ved simulering af 4 forskellige prøvetagningsstrategier: 1) ugentlig (i alt 52 årlige prøver); 2) fjortende dag (26 prøver); 3) fjortende dag i vinterperioden og månedlig i sommerperioden (18 prøver); 4) månedlig (12 prøver). For hver simuleret prøvetagningsstrategi blev lineær-interpolationsmetoden benyttet, til at estimere daglige kvælstofkoncentrationer. Simuleringer af den årlige og månedlige kvælstoftransport ud fra de forskellige prøvetagningsstrategier blev sammenlignet med den "sande" årlige og månedlige kvælstoftransport.

### Beregning af hydrologiske regimetyper (HR)

For at kunne bruge data fra de 3 vandløb til at sige noget mere generelt om prøvetagningsstrategien i de forskellige afstrømningsregimer, der findes på tværs af landet, er der lavet en teoretisk klassificering af oplandstyper. I forhold til en prøvetagningsstrategi forventes det nemlig, at jo større forskel der er i vandføringen hen over året i et vandløb, desto flere målinger vil være nødvendige for at opnå en beregnet kvælstoftransport med en lav afvigelse fra den "sande" kvælstoftransport. Derfor er der på baggrund af ID15 oplandsinddelingen og Den Nationale Vandressourcemodel fra GEUS (DK-modellen) /4/ lavet en overordnet analyse af ID15-opländenes hydrologiske regime (HR). Principet bag HR er beskrevet i boks 2.

## BOKS 2

### Hydrologisk regime HR

Hydrologisk regime er defineret ud fra nedenstående formel ud fra en antagelse om, at HR vil være afgørende for, hvordan en prøvetagningsstrategi til bestemmelse af kvælstoftransporten skal udformes i forskellige oplande, når der ønskes en maksimal afvigelse på 10% fra den "sande" årlige kvælstoftransport /3/. For samtlige ID15-oplande er der beregnet en HR værdi, baseret på modellerede månedlige afstrømninger fra DK-modellen i perioden 1990-2010.

$$\text{Hydrologisk regime} = \frac{Q_{90}}{Q_{10}}$$

Hvor:

$Q_{90}$  = 90% percentilen af månedlige vandføringer (L/s)

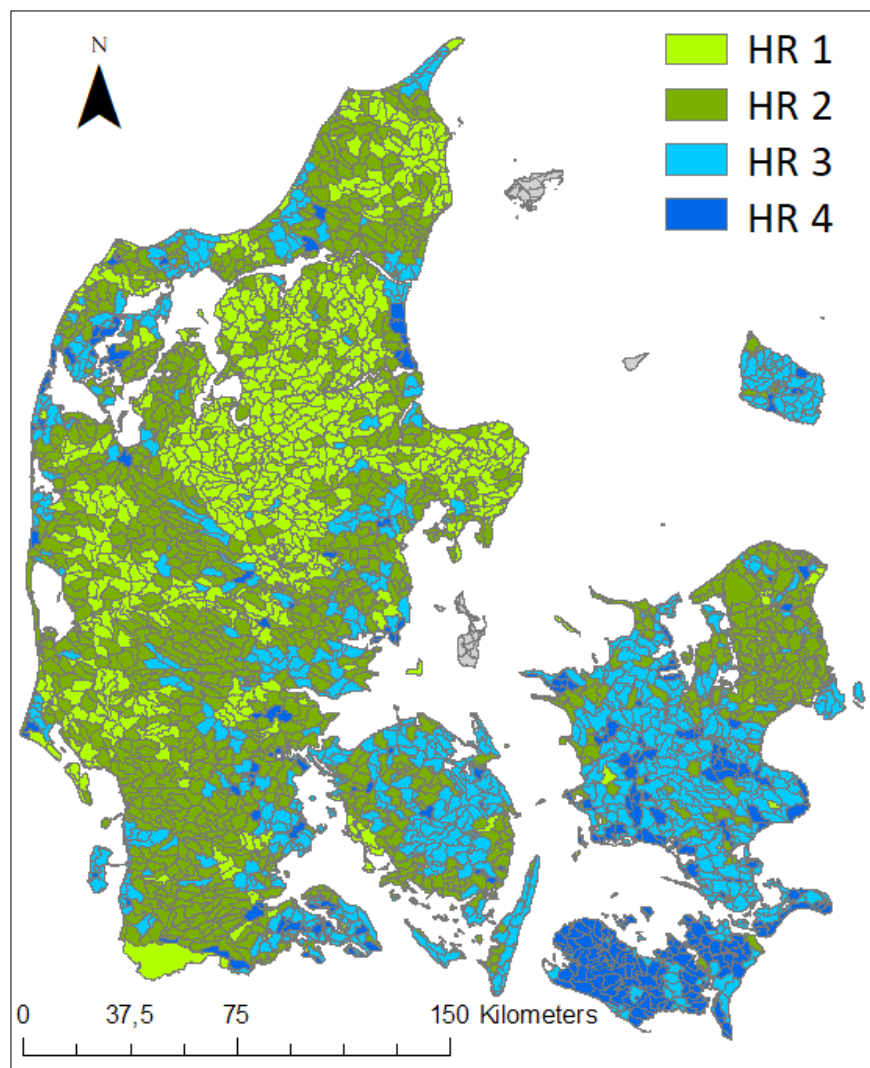
$Q_{10}$  = 10% percentilen af månedlige vandføringer (L/s)

Som supplement til den teoretisk beregnede HR-værdi for ID15-oplandene er det såkaldte Baseflow Indeks (BFI) beregnet på baggrund af data fra de 3 monitorerede vandløb. BFI-indekset er defineret som forholdet mellem den del af vandføringen, der forekommer, når der kun er et grundvandsbidrag og så den

samlede vandføringsmængde for den givne periode /5/. BFI-værdier ligger mellem 0 og 1, hvor stabile grundvandsfødte vandløb har værdier tæt på 1.

### Resultater: Hydrologiske regimetyper

De beregnede HR typer for vandløb i ID15-



Figur 1. Kort over ID15 oplande inddelt efter oplandets hydrologiske regime (HR) baseret på månedlige afstrømninger fra DK-modellen i perioden 1990-2010.



kvælstoftransport (tabel 1).

De største afvigelser ses for Odder Å, hvor den gennemsnitlige procentafvigelse varierer mellem  $-2,7 \pm 2,0$  % (ved en ugentlig strategi),  $-4,7 \pm 2,6$  % (ved en fjortende dag strategi),  $-5,9 \pm 5,7$  % (ved en fjortende dag/månedlig strategi) og  $-7,7 \pm 4,4$  % (ved en månedlig strategi) (figur 3). Derudover er der store maksimale afvigelser for alle prøvetagningsstrategier (figur 3). Det skyldes givetvis, at Odder Å både er påvirket af grundvand og overflade/drænvand, hvilket gør det svært at bestemme kvælstofkoncentrationens sæsonforløb. I vandløb af HR type 2 er en fjortende dags prøvetagning derfor nok til at sikre en afvigelse på  $< \pm 10$  % fra den "sande" kvælstoftransport (tabel 1).

For Saltø Å er den gennemsnitlige procentafvigelse ved de forskellige prøvetagningsstrategier på  $-1,1 \pm 1,1$  % (ved ugentlig),  $-2,3 \pm 1,7$  % (ved fjortende dag),  $-2,7 \pm 2,5$  % (ved fjortende dag/månedlig) og  $-5,9 \pm 3,7$  % (ved månedlig) (figur 3). I HR type 4 vandløb er en prøvetagningsstrategi hver fjortende dag i vinterperioden og hver måned i sommerperioden derfor nok til at sikre en afvigelse på  $< \pm 10$  % fra den "sande" kvælstoftransport (tabel 1). Antallet af simuleringer pr. år var for de 4 strategier:  $n=7$ ,  $n=15$ ,  $n=20$  og  $n=29$ .

### Månedlig kvælstoftransport

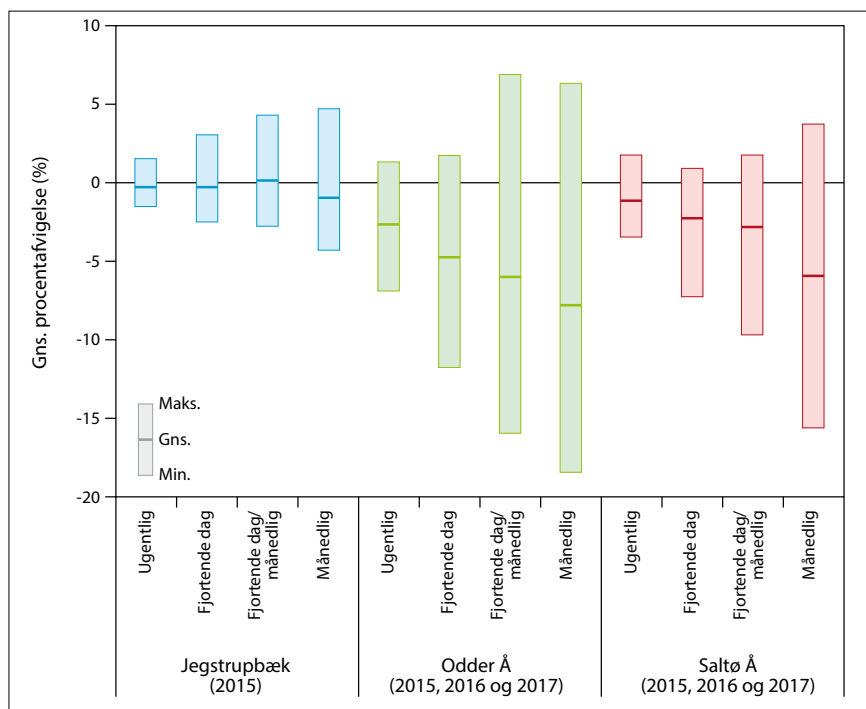
Et andet billede tegner sig, når der ses på den månedlige kvælstoftransport ud fra en ugentlig og fjortende dags prøvetagningsstrategi i Odder Å og Saltø Å (figur 4). Der er problemer med at bestemme månedstransporten med en afvigelse på maksimalt  $\pm 10$  % fra den "sande" kvælstoftransport, især i sommermånederne (figur 4), hvor kvælstoftransporten er mindst og i tilfældet Saltø Å næsten ubetydelig. Hvis månedstransporten skal bestemmes med en nøjagtighed på  $\pm 20$  %, skal der som minimum anvendes en ugentlig prøvetagningsstrategi i både Odder Å og Saltø Å. Dog er der stadigvæk en sommermåned (juli) i Saltø Å, hvor den gennemsnitlige procentafvigelse  $\pm$  standardafvigelsen vil kunne overstige 20 %. Det skal dog igen påpeges, at kvælstoftransporten i sommerperioden er nærmest ubetydelig i Saltø Å.

### Brug af Nitratax Plus sensor data

Nitratsensoren måler kvælstofkoncentrationen

Tabel 1. Anbefalede prøvetagningsstrategier til bestemmelse af den årlige kvælstoftransport i de tre pilotplander for at sikre en afvigelse på  $< \pm 10$  %

	Jegstrup Bæk (HR1)	Odder Å (HR2)	Saltø Å (HR4)
Anbefalet prøvetagningsstrategi	Månedlig	Fjortende dag	Fjortende dag i vinterperioden/ månedlig i sommerperioden



Figur 3: Figuren viser procentafvigelserne mellem den sande total N-transport og total N-transporten estimeret ud fra simuleringer af fire forskellige prøvetagningsstrategier med den gennemsnitlige afvigelse vist med vandret streg.

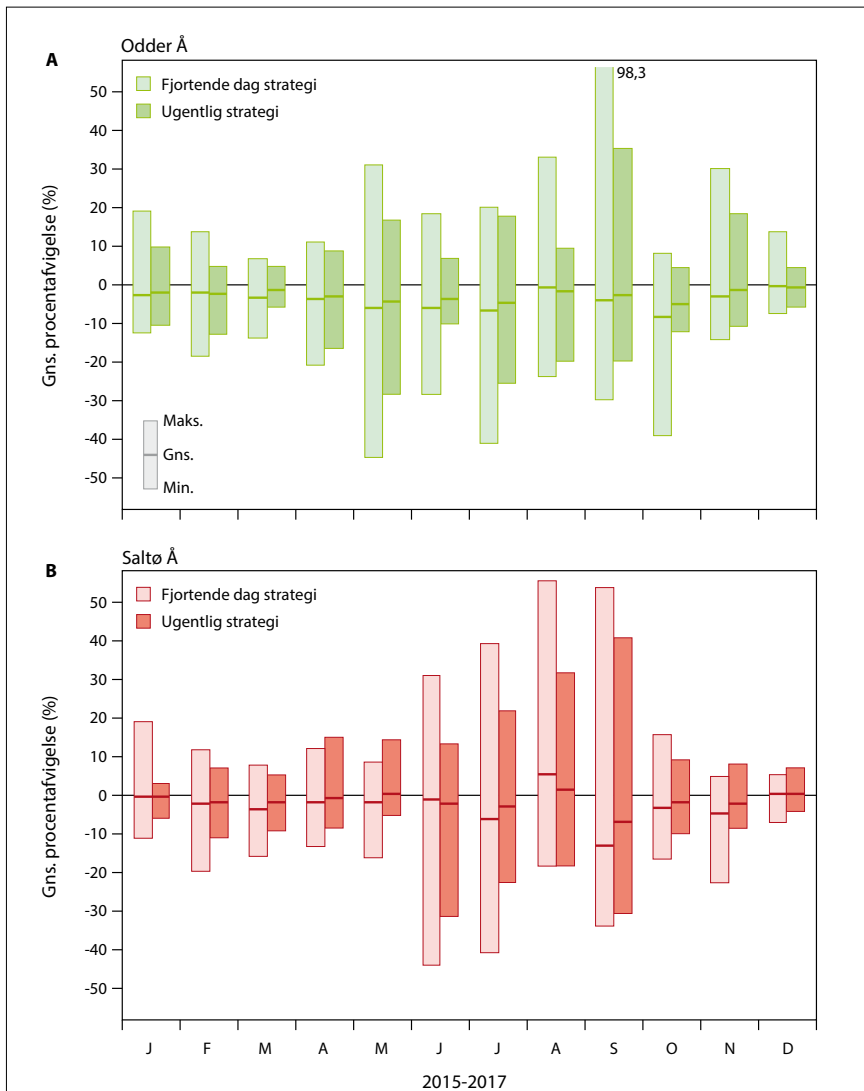
i vandløbet hver 5. minut og giver derfor en meget detaljeret beskrivelse af nitratkoncentrationen i vandløbet. I Saltø Å kan der konstateres en tilstrækkelig god sammenhæng mellem in situ vandprøver og øjeblikks sensor målingerne fra samme tidspunkt, til at nitratsensoren kan benyttes til måling af nitratkoncentrationen i vandløbet ( $r^2=0,95$ ). En tilsvarende god sammenhæng er ikke fundet ved måling med nitratsensoren i Jegstrup Bæk ( $r^2=0,39$ ), hvilket muligvis kan skyldes et højt indhold af opløst jern i vandet, som danner okkerbelægninger på sensoren. En pilottest og kalibrering af nitratsensoren ved anvendelse til måling af nitratkoncentrationen i et vandløb er derfor altid nødvendig.

Et udvalgt forløb af nitratkoncentrationen målt gennem et døgn med Nitratax Plus sensoren under en nedbørshændelse fremgår af figur 5. Umiddelbart sker der ved stigende vandføring i vandløbet en fortyndning af nitratkoncentrationen, som kan skyldes en hurtig tilførsel af vand fra befæstede arealer og måske nitratfattigt grundvand tæt på vandløbet, som trykkes ud (figur 5). Derudover ses det, at nitratkoncentrationen stiger med den stigende vandføring, dog med en forsinkelse på ca. 7 timer mellem toppen i vandføring og nitratkon-

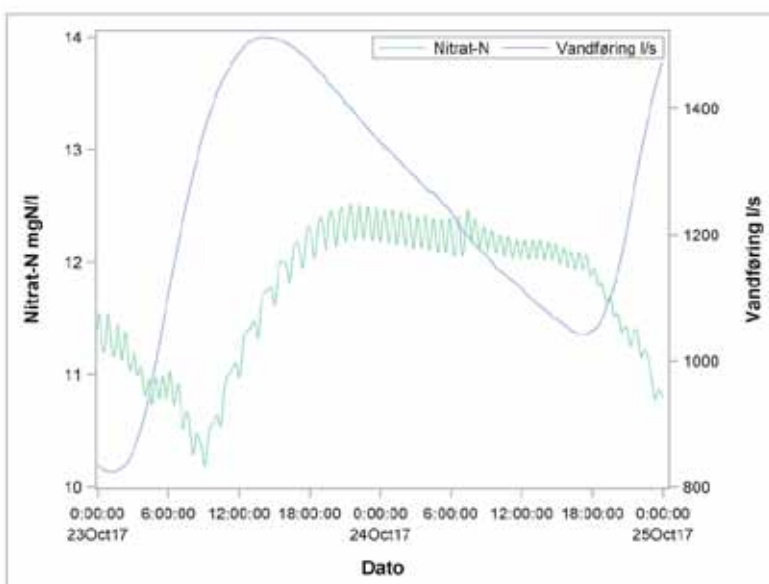
centration (figur 5). Denne forsinkede respons i nitratkoncentration, fortæller os om rodzonevandets gennemsnitlige opholdstid fra mark til vandløbsstationen inden for hele oplandet. Når vandføringen igen falder i vandløbet, falder også nitratkoncentrationen med en forsinkelse på ca. 7 timer (figur 5). Derudover fremgår det af figur 5, at nitratkoncentrationen viser korttidsudsving inden for en time med op til 0,5 mg N/l. Dette kan givetvis skyldes, at der 200 m opstrøms for målestationen er etableret en pumpestation, som afhængig af det generelle afstrømningsniveau pumper vand ind fra et større lavbundsområde til vandløbet, hvilket tydeligt påvirker den målte nitratkoncentration i vandløbet. Anvendelse af en nitratsensor giver altså bedre muligheder for at tolke på sammenhængen mellem oplandet og vandløbet hvad angår kvælstofdynamikken.

### Konklusion og perspektiver

Vandløbsmålinger kan med den rette indsats i forhold til prøvetagning anvendes til at bestemme kvælstoftransporten og dermed udledningen fra et givet opland med en afvigelse på mindre end 10 %. Det kræver, at prøvetagningsstrategien for det enkelte vandløb tilrettelægges ud fra dets hydrologiske regimetype (HR). Derudover kræver en nøjagtig bestemmelse af kvælstoftransporten solide målinger af vandføringen i vandløbet, dvs. oprettelse af en hydrometristation og minimum 10-12 årlige øjeblikksmålinger af vandføringen/3/. Til opgørelse af den årlige totale kvælstoftransport foreslås en månedlig



Figur 4. Analyse af afvigelserne fra den "sande" total N-transport for alle 3 måleår ved brug af en fjortende dags og ugentlig prøvetagningsstrategi i Odder Å og Saltø Å til bestemmelse af en månedlig kvælstoftransport. Indsat er den gennemsnitlige afvigelse vist med en vandret streg.



Figur 5. Nitratkoncentrationen målt i Saltø Å den 24. oktober 2017 ved brug af Nitratx Plus sensor samt 10 min. værdier af vandføringen.

prøvetagningsstrategi for HR1 vandløb, fjortende dags strategi i HR2 og en fjortende dags/månedlig strategi i HR4 vandløb. I de 3 undersøgte vandløb blev den gennemsnitlige kvælstoftransport beregnet ud fra punktprøver dog altid underestimeret, set i forhold til den "sande" målte kvælstoftransport. Det skal derfor overvejes, om det er nødvendigt at biaskorrigere de årligt beregnede kvælstoftransporter for derved at opnå en mere korrekt bestemt kvælstoftransport.

Anvendelse af nitratsensorer har vist sig at være meget krævende i kalibrering i Jegstrup Bæk. Derimod har sensoren virket upåklageligt og kun med behov for mindre kalibreringer i Saltø Å. I denne type vandløb er sensoren derfor en velegnet metode til detailundersøgelser af nitratdynamikken mellem opland og vandløb, herunder til opnåelse af en bedre forståelse af kilderne til nitratkvælstof i oplandet.

#### Referencer:

- /1/ Miljø- og Fødevarerministeriet 2015; Aftale om Fødevarer- og landbrugspakke. <http://mfvm.dk/landbrug/vaekst-eksport-og-arbejdspladser/foedevare-og-landbrugspakke/>
- /2/ Hvid S. K. 2018; Projektidé og pilotoplade, Vand & Jord, 2018, nr. 4.
- /3/ Poulsen J.R., Tornbjerg H., Windolf J., Larsen S.E., Kronvang, B., Højberg A.L. 2016; Vandløbsmålinger som grundlag for emissionsbaseret kvælstofregulering, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet
- /4/ Kronvang, B., Bruhn, A. J., 1990; Overvågningssprogram Metoder til bestemmelse af stoftransport i vandløb, Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser Afd. for ferskvandsøkologi
- /5/ Bøgestrand, J., Erfurt J., 2014; Datateknisk anvisning DB01: Stoftransport, version 1, DCE Aarhus Universitet [http://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/DB01\\_stoftransport.pdf](http://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/DB01_stoftransport.pdf)
- /6/ Højberg, A.L., Windolf, J., Børgesen, C. D., Trolldborg, L., Tornbjerg, H., Blicher-Mathiesen, G., Kronvang, B., Thodsen, H., Ernsten, V. 2015; National kvælstofmodel. Oplandsmodel til belastning og virkemidler, kortleverancer. GEUS, DCE og DCA, Aarhus Universitet
- /7/ Gustard, A., Bullock A., & Dixon, J.M., 1992; Low flow estimation in the United Kingdom, Report No. 108, Institute of Hydrology

S. VAN'T VEEN (svv@bios.au.dk) er videnskabelig assistent, B. Kronvang er professor, N. OVESEN er akademisk medarbejder, A. KJELDGAARD er IT-medarbejder, H. TORNBJERG er akademisk medarbejder alle fra Bioscience, Aarhus Universitet. J. POULSEN er project manager ved EnviDan A/S