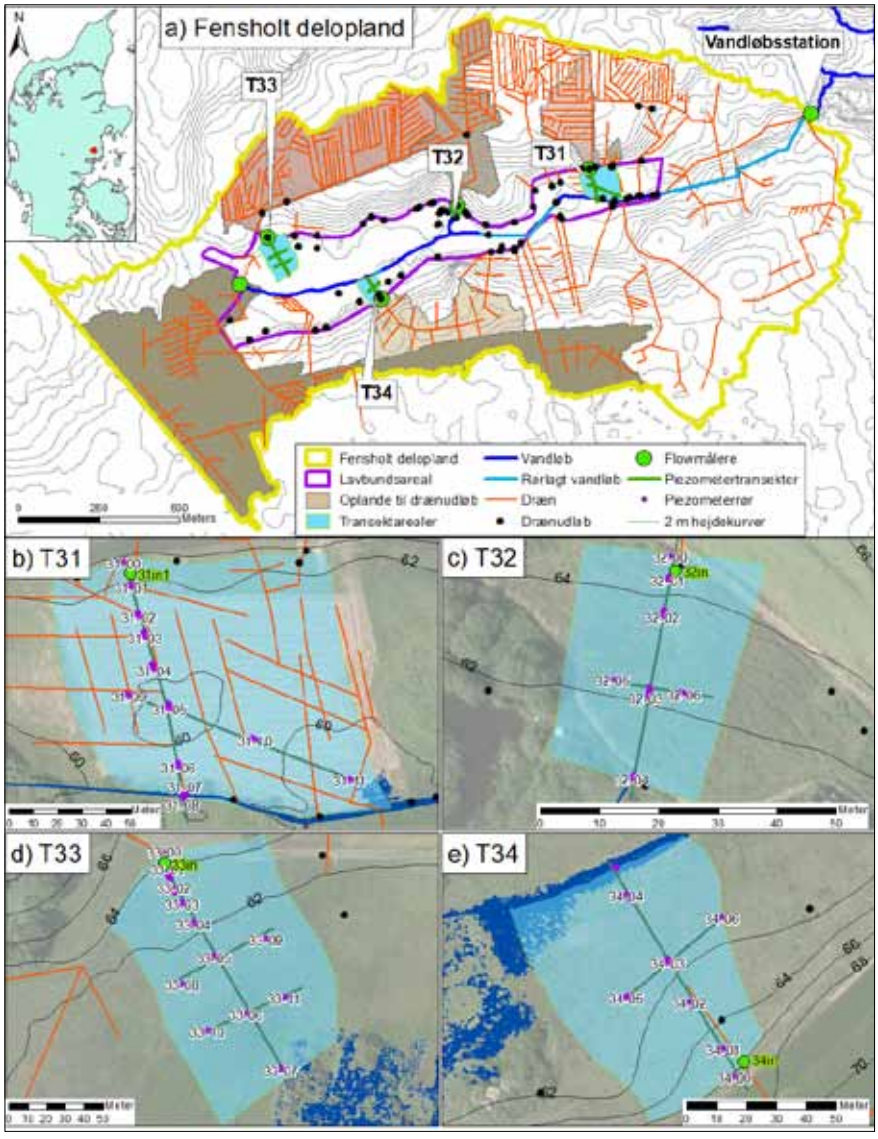
Transportveje for kvælstof i lavbundsarealer

Lavbundsarealer udgør grænseflader mellem højbunds landbrugsarealer og vandmiljø, og kan derfor have stor indflydelse på omsætningen af kvælstof (N) inden dette når frem til vandløb. Nye forskningsresultater viser en stor variation i kvælstofomsætningen inden for et forholdsvis lille lavbundsareal. Denne variation er hovedsagligt styret af forskelle i vandets strømningsveje igennem lavbundsarealet.

Rasmus Jes Petersen, Christian Prinds, Bo Vangsø Iversen & Charlotte Kjærgaard

Lavbundsarealer udgør grænseflader mellem højbund og det omgivende vandmiljø. I Danmark er 27% af landbrugsarealet direkte opland til vandløbsnære lavbundsarealer. Kvælstof, der tabes fra de omkringliggende landbrugsarealer, kan dermed omsættes ved transporten igennem lavbundsarealet, hvor nitrat-N (NO_3-N) potentielt kan omsættes til frit kvælstof (N_2) via bakterielle processer. På trods af, at lavbundsarealerne ofte udgør et relativt lille areal af det samlede oplandsareal, kan de som grænsefladearealer potentielt have meget stor betydning for et oplands samlede kvælstofbalance. Viden om vandets og næringsstoffernes transportveje gennem lavbundsarealet samt potentialet for kvælstofomsætning langs disse strømningsveje har derfor stor betydning for den målrettede kvælstofindsats. Som en del af TReNDS-projektet er betydningen af lavbundsarealer på kvælstofbalancen i et delopland til Norsminde Fjord undersøgt i detaljer /1/.



Figur 1. Kort over projektområde samt detailudsnit af de fire transektområder, T31-T34. Figuren er gengivet fra /1/ og anvendt i /4/.

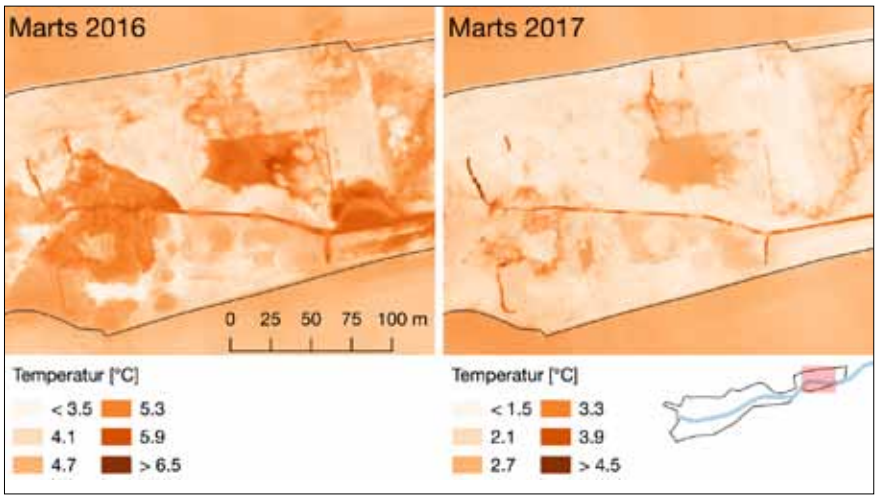
Projektområde

Projektområdet befinder sig mellem Torrild og Fensholt (Fig. 1a) i Østjylland og består af et ånært lavbundsareal, som udgør 26 ha af et deloplan på i alt 194 ha. Deloplandet udgør en del af det samlede opland til Norsminde Fjord og befinder sig i et typisk østjysk bakket morænelandskab gennemskåret af et antal helt eller delvist begravede dale. Centralt i deloplandet løber et mindre vandløb fra vest mod øst omkranset af tørveholdig lavbundsjord. Størstedelen af lavbundsarealet afgræsses i sommerhalvåret, mens det i vinterperioden er vandmættet. Arealanvendelsen i deloplandet er domineret af jord i omdrift (77%), og den dominerende jordtype er sandet moræneler. Landbrugsarealerne er drænede, og størstedelen af drænrørene er afskåret i skrænfoden, hvor drænvandet overrisler lavbundsarealet. Detailstudier er foretaget ved fire transekter (T31, T32, T33 og T34), som alle er placeret, hvor større drænudløb (31_{ind}, 32_{ind}, 33_{ind} og 34_{ind}) er afskåret i skrænfoden (Fig. 1b,c,d,e).

Geologisk kortlægning

I projektområdet valgte vi at foretage en geologisk kortlægning af den øvre geologi baseret på overfladenære boringer og geofysik (geoelektrik og elektromagnetiske metoder). Et detaljeret SkyTEM-datasæt var tilgængeligt fra et tidligere projekt (NiCA), hvilket gav en beskrivelse af den nedre geologi bestående af paleogent ler, miocænt sand og relativt lerede kvartære till-aflejringer. Boringer og geofysik blev koblet til en tre-dimensionel voxelmodel, der beskriver den rumlige fordeling af prækvartære og glaciale kvartære aflejringer samt de post-glaciale aflejringer i form af gytje og tørv /2/.

I den geologiske opbygning finder man nederst Palæogent ler, hvorpå der ligger et relativt tykt (20-50 m) lag Miocænt sand. Den overliggende moræne er sandet nederst, men størstedelen er moræneler. Lavbundsområdet er beliggende i en mindre tunneldal. Der er ingen dybe boringer i selve dalen, hvorfor vi ikke kender til geologien, men SkyTEM-data indikerer, at det er lerede aflejringer. I den vestlige del af dalen ses dog et overfladenært sandlegeme af en betydelig tykkelse (5-20 m). Sandet er tydeligst i dalens sydlige flanke, hvor det findes umiddelbart under tørven. Ellers er basis for de post-glaciale aflejringer i dalen en leret moræne med en stærkt ujævn topografisk signatur. Dette har dannet grundlag for et post-glacialt miljø med bassiner med søer, hvor der nederst er aflejret gytje med indslag af sand, derover en organisk-rig gytje og øverst rene aflejringer af helt eller delvist omsat tørv.



Figur 2. Termisk foto af området omkring T31 i marts 2016 og 2017. De høje temperaturer indikerer overfladevand. Figuren er gengivet fra /3/.

Monitering af vand og stoftransport

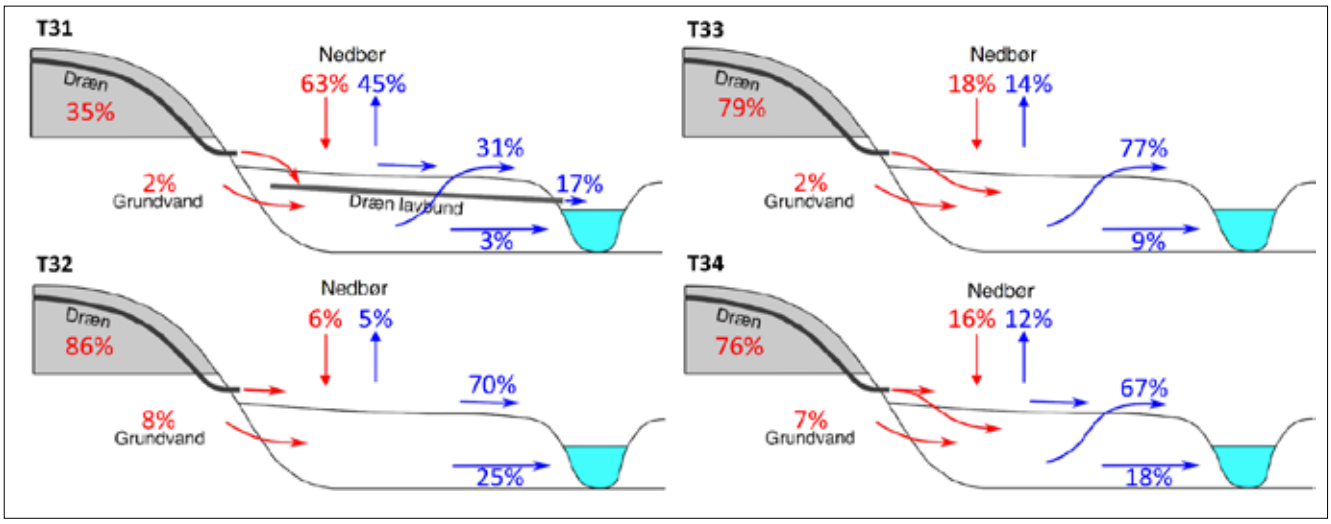
De fire lavbundsarealer modtager vand og næringsstoffer fra dræn afbrudt i skrænfoden, fra grundvand og via nedbør. Grundvandstransporten blev moniteret med piezometerrør, som blev installeret i flere dybder i strømningstransekter (Fig. 1b-e). Piezometerrørene blev anvendt til udtagning af vandprøver og måling af trykniveau i perioden september 2016 til oktober 2017. Vandføringen blev målt kontinuert på hoveddræn vha. elektromagnetiske fluxmålere, hvor der samtidig blev foretaget kontinuert automatisk vandprøvetagning, der sikrede daglige vandkemidata. Udløbsdræn fra lavbunden til vandløbet i T31 blev målt ved manuel prøvetagning. Endelig blev vandføringen og vandkemien i vandløbet målt ved kontinuert automatisk prøvetagning ved vandløbsstation umiddelbart nedstrøms lavbundsområdet (Fig. 1a). Piezometerrørene blev ligeledes anvendt til estimering af hydraulisk ledningsevne for de hydrogeologiske enheder i lavbundsområdet ved hjælp af slug tests. Instrumentering og monitering af vand og stoftransporten er detaljeret beskrevet i /1/.

En særdeles vanskelig parameter at monitere er overfladeafstrømning. Overfladeafstrømning kan forekomme, når den hydrauliske belastning fra dræn overstiger lavbundsjordens infiltrationskapacitet, og kan også være et resultat af exfiltration, hvor grundvandet siver op og afstrømmer overfladisk. Overfladeafstrømningen kan være svær at observere i felten med det blotte øje, men i perioder med en gunstig temperaturkontrast mellem jordoverflade og drænvand/grundvandstemperatur kan termiske fotos vise overfladestrømningsveje med stor nøjagtighed /3/. Figur 2 viser området omkring T31 med omtrent et års mellemrum. I 2016 er grundvandsmagasinet mættet pga. en særdeles våd vinter og området er delvist præget af overfladeafstrømning. I 2017 ses en situation, hvor vandmætningen i lavbundsmagasinet er mindre.

Vandets strømning i lavbundsarealerne

På baggrund af dels målinger af drænafstrømning, hydraulisk ledningsevne og hydraulisk trykniveau, og dels modelresultater /1/, er der beregnet en vandbalance for hvert af de fire transektområder (Fig. 3). Det ses, at grundvandstilstrømningen kun udgør et lille bidrag, mens størstedelen af vandet ledes til lavbundsarealerne via dræn. I T31 er drænbidraget begrænset, hvormed nedbørsbidraget får relativt større betydning for dette transekt.

De fire transekter repræsenterer forskellige hydrogeologiske typologier. T31 er et drænet lavbundsareal, hvor en del af vandet bliver opfanget i dræn og ledt til vandløbet via disse. Kombinationen af lavbundsdræn, der øger infiltrationen, og en relativt begrænset drænstrømning resulterer her i en betydeligt lavere andel, som afstrømmer som overfladevand sammenholdt med de øvrige transekter. I T32 er afstanden fra skrænfoden til vandløbet kort, og den topografiske hældning er høj (9%). Dette, kombineret med en lav infiltrationsevne, resulterer i, at en stor del af drænvandet afstrømmer hurtigt som direkte overfladeafstrømning uden interaktion med lavbundssedimentet. T33 er beliggende, hvor lavbundsarealet er bredest og med lav hældning (2,5%). Drænvandet infiltrerer i den øvre del af transektet, men exfiltrerer i den nedre del og afstrømmer derfor overfladisk til vandløbet. T34 har overordnet samme karakteristika som T33, men med en noget kortere afstand fra skrænfod til vandløb og et lavere vandinput (Fig. 1 og 3).



Figur 3. Fordeling af vandbidrag på strømningsveje ind (rød) og ud (blå) af lavbundstransekterne T31-T34 for perioden 1/9-2016 – 31/8-2017. Lækage til et dybereliggende grundvandsmagasin udgør <1% og opmagasinering af vand i lavbundens tørvelag <4%. Resultater fra /1/.

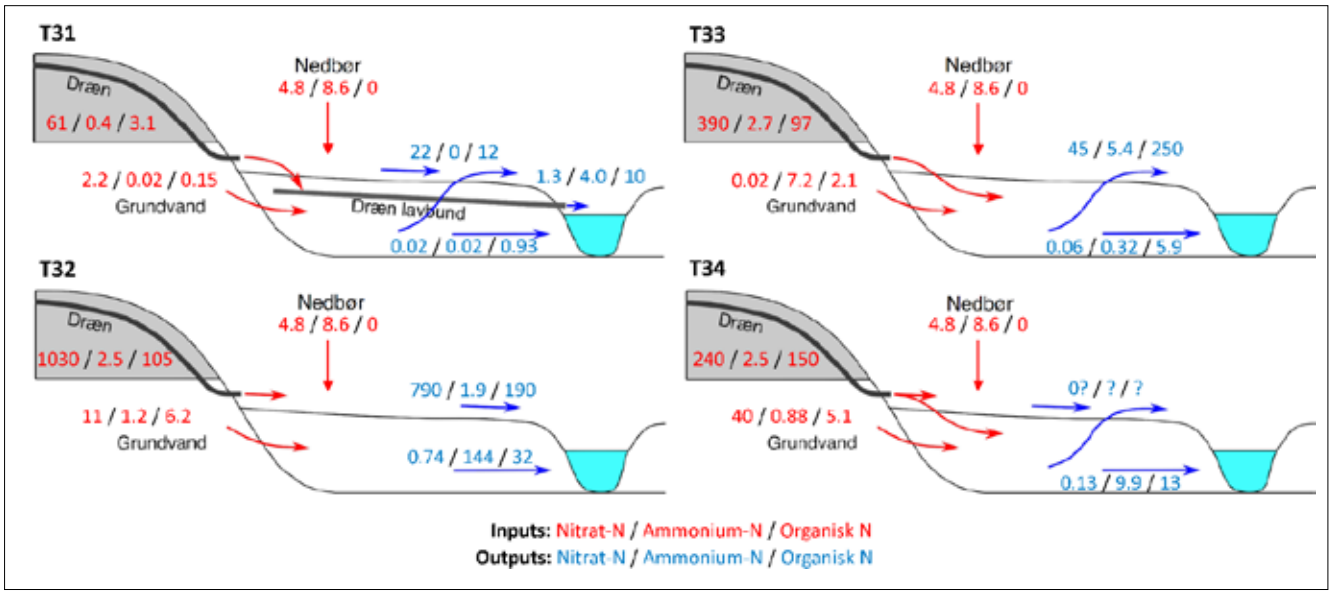
Kvælstofbalance

Kvælstoftilførslen til lavbundsarealet stammer i langt overvejende grad fra markdræn med nitrat-N som den dominerende N-form (Fig. 4). Afhængigt af de dominerende strømningsveje påvirkes kvælstofomsætningen- og balancen dog meget forskelligt i transekterne (Tabel 1).

Kvælstof i form af nitrat-N omsættes effektivt, når vandet transporteres igennem de tørveholdige jordlag. Dette ses i transekterne, hvor den maksimale nitrat-N reduktion (89%) blev observeret i T33 der er domineret af exfiltration, mens den laveste reduktion (25%) blev fundet ved direkte overfladetransport i T32. Ved den direkte overfladetransport vil nitrat-N-reduktionen være styret af den diffussive udveksling mellem nitrat-N i overfladevandet og de reducerende jordlag. I det drænede transekt T31 har lavbundsdrænene medvirket til at øge infiltrationen af drænvand. Transportvejen er således en kombination af afstrømning via lavbundsdræn samt overfladeafstrømning i form af både exfiltration og direkte overfladetransport. Den samlede nitrat-N-reduktion på 66% afspejler således, at en betydelig del af vandtransporten er foregået via de tørveholdige denitrificerende jordlag.

Strømningen af vand igennem lavbundstransekterne bidrog til en in situ frigivelse af især organisk N og i nogle tilfælde ammonium-N (NH_4-N). Lavbundsarealerne tilføres ammonium-N primært via nedbør, mens organisk N stammer fra dræn (Fig. 4). Ved vandtransporten igennem lavbundsarealet ses de største netto-frigivelser af ammonium-N ved grundvandstransporten (T32 og T34), mens de meget høje netto-tab af organisk N (19-160 kg pr ha) blev observeret i forbindelse med overfladeafstrømning (T31, T32, T33) og til dels lavbundsdræn (T31).

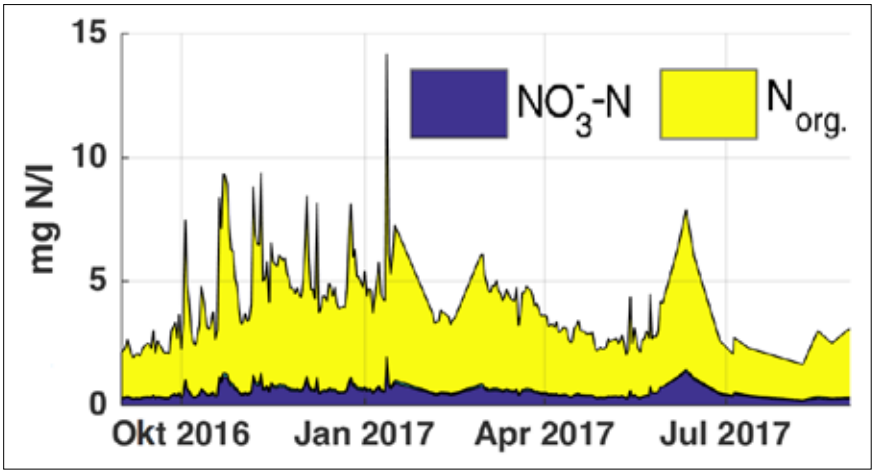
I T34 kunne der ikke foretages en repræsentativ prøvetagning af overfladeafstrømningen, hvormed der ikke har kunnet beregnes massebalance for dette transekt. Overfladevandet i dette transekt bredte sig over en stor del af lavbundsarealet som en ganske tynd vandfilm. Beregninger indikerede, at størstedelen af tilført nitrat-N kunne fjernes via diffussiv udveksling med porevandet i lavbundssedimentet /1/, mens der med stor sandsynlighed ville være en samtidig frigivelse af ammonium-N og organisk N, som det blev set i de øvrige transekter med overfladestrømning.



Figur4. Fordeling af N-former nitrat-N/ammonium-N/organisk N opgjort som kg N pr ha lavbundsareal pr år der tilføres (rød) og eksporteres (blå) fra lavbundstransekterne via forskellige strømningsveje. Resultater fra /1/.

Tabel 1. Nøgletal for N transformation for de fire transekter T31-T34

	T31	T32	T33	T34
Hydraulisk belastning [mm]	1365	14075	4738	5261
Nitrat-N tilførsel til lavbund [kg/ha lavbund/år]	68	1045	397	282
Total N tilførsel til lavbund [kg/ha lavbund/år]	81	1169	515	445
Fjernelse af nitrat-N [kg/ha lavbund/år]	45 (66 %)	206 (25%)	350 (89%)	-
Frigivelse af ammonium-N [kg/ha lavbund/år]	-5.1	134	-1	-
Frigivelse af organisk N [kg/ha lavbund/år]	19	113	160	-
Total N balance (fjernelse) [kg/ha lavbund/år]	31 (38%)	12 (1%)	205 (40%)	-



Figur 5. Koncentrationsfordeling af N i vandløbet ved udløbet fra det undersøgte delopland. Ammonium-N udgør en så lille del, at det ikke kan ses på denne graf. Resultater fra /1/.

De samlede kvælstofbalancer afspejler således, at selvom de vandmættede tørveholdige lavbundsarealer effektivt kan reducere nitrat-N ved transport via lavbundssedimentet, så påvirkes den samlede N-balance af den samtidige frigivelse af organisk N samt ammonium-N fra lavbundssedimentet (Tabel 1).

Lavbundens betydning for deloplandets N-balance

Resultater fra de fire transekter viser en effektiv fjernelse af nitrat-N i de transekter, hvor drænvand er i stand til at infiltrere ned i de tørveholdige lavbundssedimenter. Samtidig sker der dog en frigivelse af ammonium-N og især organisk N. At denne in situ N-frigivelse er generel for lavbundsarealet i Fensholt ses af N-fordelingen i vandløbet ved stationen nedstrøms lavbundsområdet (Fig. 5), hvor størstedelen af N-tabet er i form af organisk N. Den samlede N-transport i vandløbet i måleperioden var 2910 kg N svarende til et arealnormeret tab på 15.9 kg N/ha for hele deloplandet. Af dette stammede ca. 2550 kg N fra in situ tabet fra de våde udyrkede lavbundsarealer, svarende til at lavbundsarealet bidrager med 88% af den samlede N-transport ved vandløbsstationen.

Perspektiver

Resultaterne fra TReNDS-projektet viser, at lavbundsarealer har meget stor betydning for deloplandets samlede kvælstofbalance, hvor effekten kan være meget variabel afhængig af vandets strømningsveje igennem lavbundsarealet. Fordelingen af vand fra oplandet, der transporteres via lavbundsarealet som enten overfladeafstrømning eller terrænnær grundvandsafstrømning, bliver dermed kritisk for den samlede kvælstof- /1/ og fosforbalance /4/. Denne fordeling styres bl.a. af terrænhældning og afstanden fra skrænfod til vandløb, samt forholdet mellem den hydrauliske belastning og lavbundsarealets infiltrationskapacitet. Arealudbredelsen, jordens hydrauliske ledningsevne, trykgradienter og forekomsten af dræn i lavbund vil være styrende parametre for infiltrationskapaciteten /1/.

Kvælstofretentionen i lavbundsarealer er ikke inddraget i den eksisterende N-retentionskortlægning, der er udgangspunktet for den målrettede regulering fra 2019, men TReNDS resultaterne demonstrerer, at grundlaget for den målrettede indsats vil forbedres væsentligt ved at inddrage viden om kvælstofretention i lavbund i oplandsmodellerne. Udfordringen bliver, at håndtere de relativt store lokale variationer. Lavbundsarealet i Fensholt dækker et areal på kun 26 ha, hvor de fire transekter (T31-T34) repræsenterer variationen i strømningstypologier, og den deraf afledte variation i transport og omsætning af nitrat-N fra de omkringliggende marker. Oplandsmodeller skal således kunne håndtere denne variation, men vandbalancemodellen /1/ anviser en operationel tilgang til denne udfordring.

Endelig er det væsentligt at forholde sig til at tørveholdige lavbundsarealer kan være en betydelig kilde til frigivelse af ammonium-N og især organisk-N i en størrelsesorden, hvor det er særdeles vigtigt at tage højde for disse tab i deloplandets kvælstofbalance. Særligt tab af organisk N viste sig at være knyttet til overfladestrømning, som således i dobbelt forstand er en kritisk transportvej i lavbundsarealer.

Referencer

/1/ Petersen, R. J., Prinds, C., Iversen, B. V., Engesgaard, P., Jessen, S., and Kjaergaard, C. 2018. Nitrogen reduction along variable flow pathways in riparian lowland transects. Submitted to Water Resources Research

/2/ Prinds, C., Petersen, R. J., Greve, M. H. og Iversen, B. V. Three-dimensional voxel geological model of a riparian lowland and surrounding catchment using a multi-geophysical approach. Journal of Applied Geophysics (accepteret)

/3/ Prinds, C., Petersen, R. J., Greve, M. H. og Iversen, B. V. Locating Tile Drainage Outlets and Surface Flow in Riparian Lowlands Using Thermal Infrared and RGB-NIR Remote Sensing. Geografisk Tidsskrift (i review)

/4/ Petersen, R. J., Prinds, C., Iversen, B. V. og Kjærgaard, C. 2018. Fosfortab fra våde lavbundsjorde. Vand og Jord 25-3.

Rasmus Jes Petersen (jes@agro.au.dk) er PhD-studerende og Christian Prinds (christian@agro.au.dk) har netop afsluttet PhD, begge ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. Resultaterne beskrevet i denne artikel indgår i de to PhD afhandlinger samt i videnskabelige artikler. Bo V. Iversen (bo.v.iversen@agro.au.dk) er PhD og lektor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. Charlotte Kjærgaard (chkj@seges.dk) er PhD og chefforsker ved SEGES, Agro Food Park, Aarhus og frem til juni 2017 seniorforsker ved Aarhus Universitet.