

Forbedret drænsimulering til kortlægning af kvælstofretention

Omtrent halvdelen af det danske landbrugsareal er drænet og i disse områder kan dræn være den dominerende transportvej for nitrat. Under T-REX projektet er der udviklet et drænfraktionskort, der på 100m grid skala giver et estimat for andelen af nedbøren der transporteres via dræn.

SIMON STISEN, RAPHAEL J. M. SCHNEIDER, HAFSA MAHMOOD & ANKER L. HØJBERG

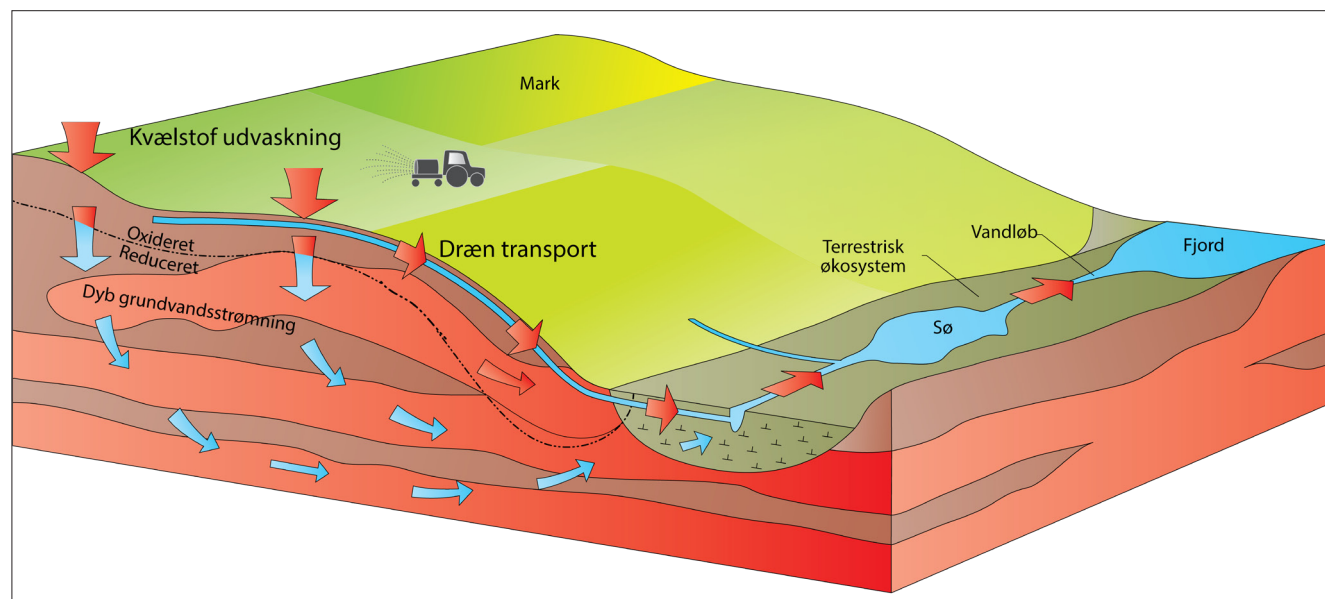
Introduktion

Omsætning af kvælstof (N) fra det udvaskes fra markfladen, primært i form af nitrat, til det når havet betegnes ofte N-retention. I Danmark er N-retentionen kortlagt på oplandsniveau med den nationale kvælstofmodel (NKM) /1/, som er baseret på en kobling af modeller der beskriver, N-udvaskning ud af rodzonen (NLES), transport og omsætning i grundvandet (DK-Modellen) og retention i overfladevandssystemet, dvs. vandløb, søer og

vådområder. Vandets strømningsveje gennem undergrunden er helt afgørende for sandsynligheden for reduktion af nitrat, idet en dyb og langsom transportvej via grundvandet til overfladevandet øger sandsynligheden for at nitraten reduceres under iltfrie forhold inden det når overfladevandssystemet. Omvendt vil dræning, som benyttes på store dele af det danske landbrugsareal, transportere nitrat stort set ureduceret til overfladevandssystemet og dermed potentielt bidrage med en betragtelig andel af kvælstofbelastningen (Figur 1). Det er derfor afgørende for estimering af N-retentionen, at drænastrømningen i de hydrologiske modeller simuleres så korrekt som muligt.

Drænastrømning simuleres i NKM med

den nationale vandressource model (DK-Modellen) /2/, som er en koblet grundvands-overfladevandsmodel. DK-Modellen simulerer drænastrømningen som en funktion af interaktionen mellem drændybde og grundvandsstand styret af klimaet samt de lokale topografiske og geologiske forhold. På trods af dette er det vanskeligt at kvantificere hvor godt modellen simulerer drænastrømning, og især dens præcise rumlige fordeling, da der er meget få drænmålinger på landsplan. I stedet kalibreres og valideres DK-Modellen mod et stort datasæt af vandløbsafstrømninger (305 stationer) og grundvandspejlinger (ca. 29.000 borer), ud fra en hypotese om, at drænastrømningen er tilnærmelsesvis korrekt, hvis modellen viser gode resultater for vandføring



Figur 1. Konceptuel model for kvælstoffets transportveje fra udvaskning ud af rodzonen til det marine miljø. I den nationale kvælstofmodel beregnes udvaskning fra rodzonen og strømningsvejene i grundvandet. Ved transport under reducerede forhold vil der ske en omsætning af nitrat (blå pile), mens det kan transporteres ureduceret (røde pile) via oxideret grundvand og dræn. I modellen tages højde for yderligere kvælstofkilder til overfladevandet samt reduktion i de forskellige overfladevandskomponenter.

og grundvandsstand. Det har imidlertid vist sig vanskeligt at udlede information om drænaftstrømning fra tidsserier af vandløbsafstrømning, da disse målinger aggregerer oplande på omkring 30-500 km², som repræsenterer en kompleks blanding af bidrag fra grundvand, dræn og overfladisk afstrømning med varieret tidslig forsinkelse /3/.

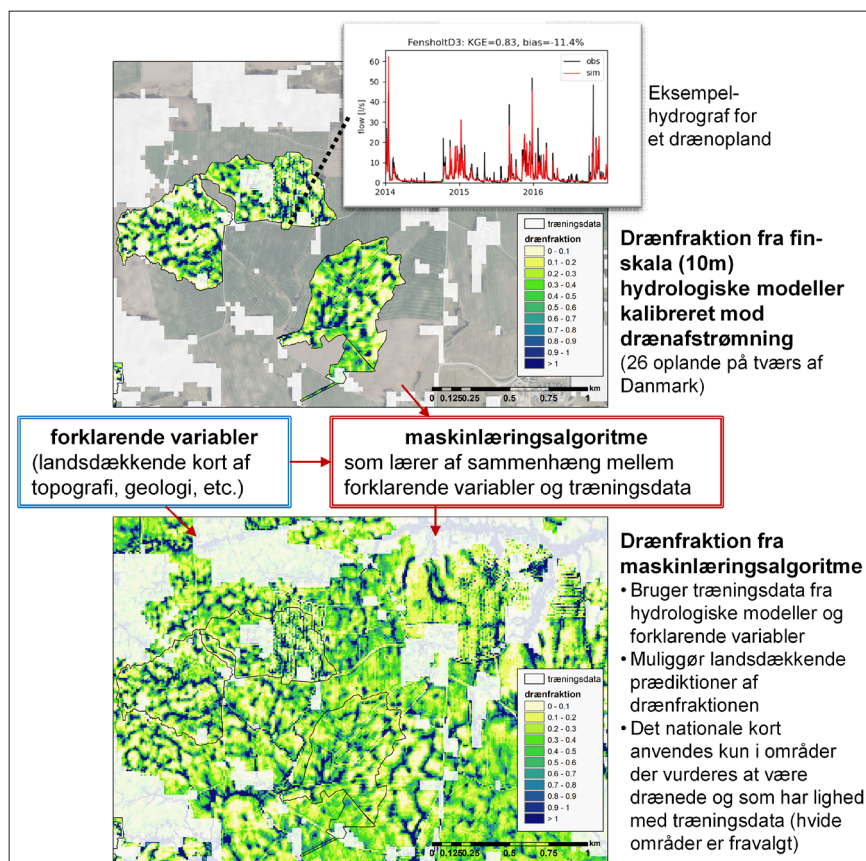
DK-Modellen er således ikke specifikt evalueret mod drænaftstrømning, og det har ikke tidligere været muligt at kvantificere nøjagtigheden af de simulerede drænaftstrømninger. Der findes daglige drænaftstrømningsdata, der beskriver drændynamikken, fra enkelte marker, hvor drænoplandet samtidigt er kendt. Disse data udgør et væsentligt fundament for at kunne evaluere modellerens evne til at simulere drænaftstrømning, men er begrænset af deres ringe arealdækning. I dette studie er der anvendt data fra 26 marker fordelt over de lerdominerede jorde (Østjylland, Fyn, Sjælland og Lolland) med et samlet areal på 5,20 km², svarende til en minimal fraktion af det samlede drænedede landbrugsareal i Danmark på ca. 17.000 km² /4/. Til sammenligning dækker de 305 vandløbsstationer, som anvendes i evalueringen af DK-Modellen, ca. 80 % af det samlede landareal.

Der er derfor behov for at udvikle metoder til at udnytte de tilgængelige drændata til en regionalisering til større arealer for at kunne evaluere modelsimuleringer for langt større områder end markerne med drændata dækker. Drænaftstrømningen er stærkt variabel i rum og tid: Den er styret af den lokale topografi og geologi, og dens tidlige dynamik varierer meget mellem vinter og sommer og er stærkt påvirket af enkelte nedbørshændelser. Derfor kan det være fordelagtigt at beskrive en stedspecifik drænaftstrømning ved en drænfraction, som er den andel af nedbøren der ender i drænrørene.

Et nationalt drænfractionskort

I T-REX projektet er der udviklet en metode til at kortlægge drænfractionen. Metoden udnytter drænmålinger til at kalibrere drænsimuleringen i markskala hydrologiske modeller, hvis resulterende drænfraction efterfølgende regionaliseres til nationalt niveau vha. en maskinlæringsalgoritme, som kan anvendes udenfor de målte drænoplande.

Der er opstillet adskillige hydrologiske markskala modeller i en høj rumlig opløsning (10 m grid), så alle de 26 marker, hvorfra der eksisterer drændata, er inkluderet i én model. Alle modellerne er derefter kalibreret ved anvendelse af ét samlet modelparametersæt, og evalueret mod de tilgængelige data. Da de hydrologiske modeller er opstillet for en lang



Figur 2. Skitsering af hvordan der etableres et kort over drænfractionen baseret på markskala hydrologiske modeller som regionaliseres vha. en maskinlæringsalgoritme og en række forklarende variable. Endeligt afgrænses estimatet til de områder, som er sammenlignelige med træningsdata.

kontinueret periode, er det muligt at udnytte alle de tilgængelige drænmålinger på trods af, at disse er målt for forskellige tidsperioder. Efterfølgende kan alle markskala modellerne ligeledes simulere drænfractionen for den samme 30 års tidsperiode for at opnå en klimanormaliseret værdi, som ikke er afhængig af hvilken periode, der er målt på den enkelte mark. Dette er vigtigt, fordi drænaftstrømning er direkte korreleret til nedbøren det pågældende år. Desuden giver den modelbaserede tilgang mulighed for at beregne en række forskellige statistikker på drænfractionen herunder variationer mellem sæsoner.

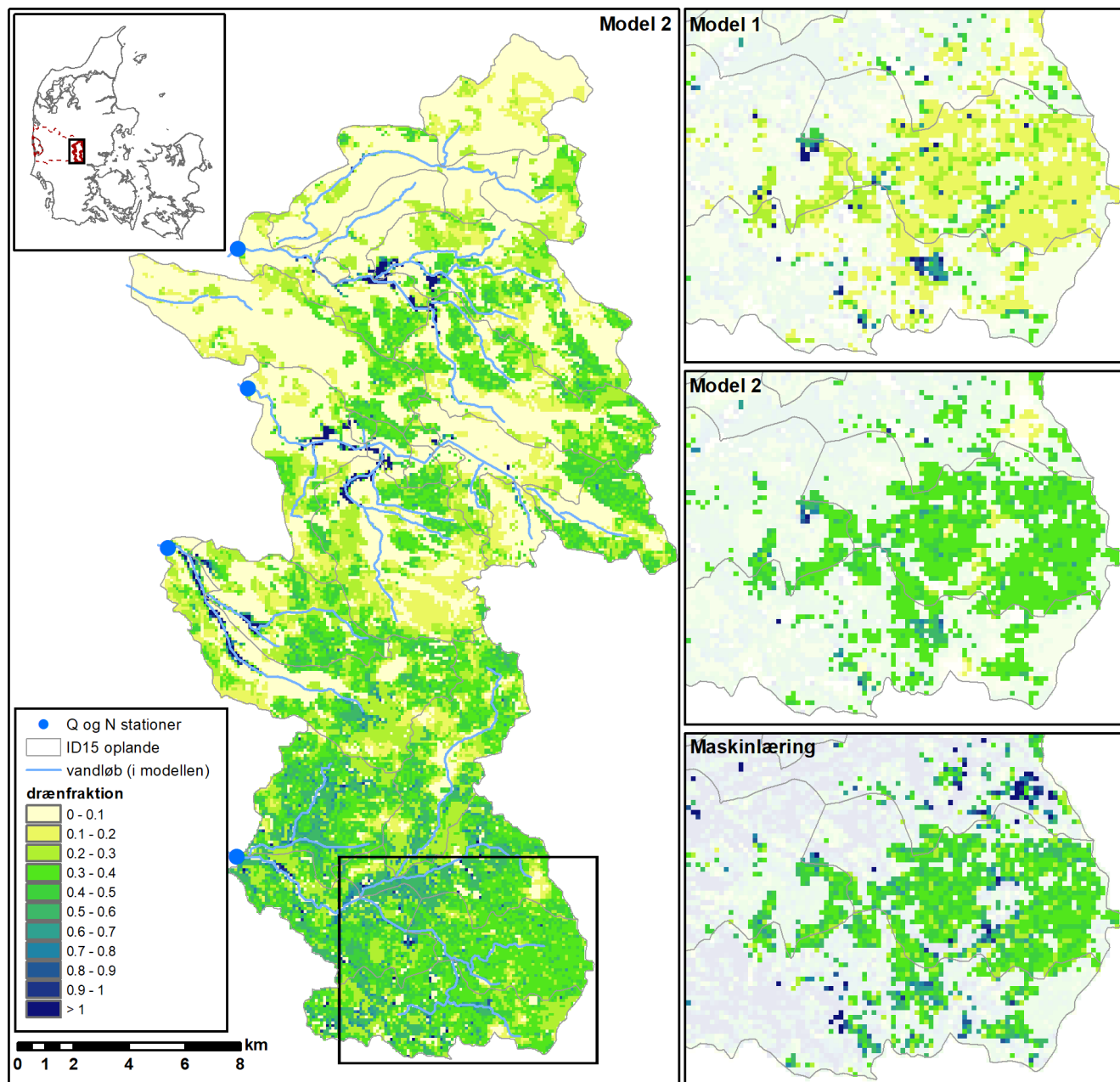
Den efterfølgende regionalisering af simulerede drænfractioner til et nationalt kort foretages ved træning af en maskinlæringsalgoritme, som kan anvendes udenfor de målte drænoplande. Dette er muligt fordi de rumlige variationer i drænfraction hovedsageligt er styret af lokale topografiske og hydrogeologiske forhold, som kan kvantificeres for hele landet. Disse topografiske og hydrogeologiske datasæt benævnes de forklarende variable. Den nationale regionalisering vil dog kun være gyldig for områder, som har en vis lighed med de drænoplande, der blev anvendt til at træne algoritmen, og hvor der er høj sandsynlighed for at markerne er drænet. Der er der-

for arbejdet med en metode til at kortlægge det geografiske gyldighedsområde, dvs. områder hvor maskinlæringsmodellen kan anvendes. Metoden bygger på en analyse af de forklarende variables lighed mellem de områder der er benyttet til at træne algoritmen, og de områder resultaterne ønskes udbredt til. På denne måde opnås en vurdering af i hvilke områder drænfractionskortet forventes at kunne anvendes.

Processen fra markskala simuleringer til regionalisering udenfor målte markoplande er skitseret i Figur 2.

Kalibrering af drænsimulering i DK-Modellen

Med det nye drænfractionskort har man for første gang et datasæt, som kan anvendes til at kalibrere og validere DK-Modellens drænsimuleringer på regional til national skala. For at teste denne anvendelse af drænfractionskortet er der udvalgt et område, der dækker fire vandløb i den opstrøms del af Skjern Å systemet (Figur 3). En delmodel af DK-Modellen i 100 m gridopløsning er opstillet og kalibreret dels mod de traditionelle kalibreringsmål baseret på vandføringsmålinger og grundvandspejlinger og mod det nye drænfractionskort. Derved indgår modellens simulering af



Figur 3. Simuleret drænfraction for den opstrøms del af Skjern å oplandet. Figuren til venstre viser den simulerede drænfraction efter kalibrering mod vandføring, grundvandsstand og drænfraction (Model 2). Desuden vises tre zoom som illustrerer dels en model som alene er kalibreret mod vandføringer og grundvandsstand, men ikke mod drænfraction (Model 1), Model 2, samt det maskinlæringsbaseret drænfraction, som var målet for kalibreringen af Model 2 (Maskinlæring).

drænstømning specifikt i modeloptimeringen. Der er i første omgang anvendt en 30-års middel drænfraction som kalibreringsmål, for at forbedre den rumlige fordeling samt den samlede drænmængde, men metoden gør det også muligt at kalibrere mod fx sæson- eller månedskort over drænfraction.

Figur 3 viser den simulerede drænfraction med den hydrologiske model efter kalibrering mod både vandføring, grundvandsstand og drænfraction (Model 2), samt drænfractionen med en model der kun er kalibreret mod vandføring og grundvandsstand (Model 1; dette svarer til en typisk kalibrering af en hydrologisk model). I udsnittene til højre i Figur 3 illustreres drænfractionen med de to

modeller for et udvalgt område sammen med det maskinlæringsbaserede drænfractionskort. I disse udsnit vises kun de områder som maskinlæringskortet er gyldigt for. Der fremgår tydeligt at modellen underestimerer drænfractionen fra de drænedede områder hvis dette ikke inkluderes i kalibreringen. Det er dog væsentligt for den efterfølgende anvendelse af de hydrologiske modeller, bl.a. til beregning af kvælstoftransport og -omsætning, at drænbidraget estimeres overalt, hvilket er illustreret i Figur 3 (venstre). Geologien i den nordlige del af området er domineret af sand og har lav drænfraction, mens den sydlige er mere leret og har en højere drænfraction. I den hydrologiske model repræsenterer

drænfraction mere end kun dræning fra rørdrænedede marker, da det også inkluderer afdræning via grøfter og små naturlige vandløb.

Beregning af N-retention med den nye model

Efter at have genkalibreret den hydrologiske model for den opstrøms del af Skjern Å oplandet, er der gennemført en partikelbansimulering til beregning af transportvejene i grundvandet. Dette giver mulighed for at beregne andelen af nitrat, som hhv. passerer redoxgrænsen og reduceres (Figur 1) eller transporteres ureduceret til overfladevandet via dræn. Vha. NKM beregnes desuden N-

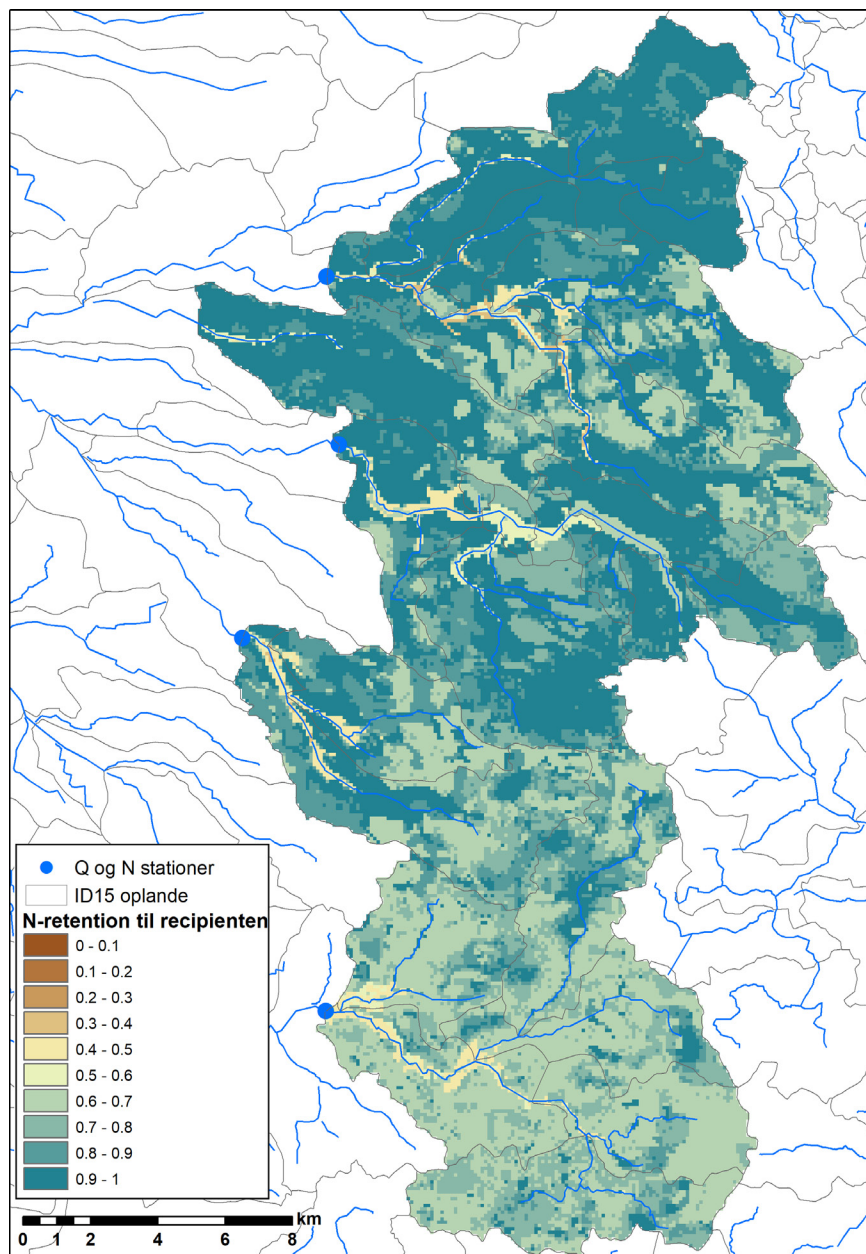
retentionen i overfladevandet. Det er vigtigt at pointere, at selv om kortet (Figur 4) angiver et simuleret estimat af N-retentionen på grid-niveau (100 m), kan estimatets nøjagtighed udelukkende evalueres på oplandsskala, hvor der er målinger af kvælstoftransporter i vandløbene. Kortet giver dog en interessant indsigt i hvordan den hydrologiske model beskriver den rumlige fordeling af N-retentionen indenfor et opland.

Det er tydeligt at der er å-nære områder hvor reduktionen er lav, samt meget dræned områder hvorfra det ligeledes beregnes, at en betydelig mængde kvælstof når vandløbene. Omvendt er der større områder i den nordlige del af oplandet, hvor vandets strømningsveje er domineret af en dyb grundvandstransport, der passerer redoxgrænsen og hvor der sker en begrænset dræning, hvilket fører til en høj N-retention.

Integration af resultater

Studiet under T-REX projektet har vist, at det er muligt at kalibrere detaljerede hydrologiske modeller til forskellige drænoplande forskellige steder i landet ved anvendelse af ét fælles parametersæt, dvs. uden en lokal tilpasning til de enkelte drænstationer, hvilket styrker metodens geografiske anvendelighed. Desuden er gyldighedsområdet for det etablerede drænfraktionskort, der afhænger af datamaterialet anvendt til at træne maskinlæringsalgoritmen estimeret. Der i dette studie primært drændata fra lerede højbundsjorde, der udgør en vigtig del af de dræned landbrugsjorde i Danmark. For disse områder er der således for første gang opnået et bud på hvor stor dræningen er i forhold til nedbøren og hvordan den varierer rumligt. I studiet er der set på den samlede årlige dræning, men metoden kan ligeledes anvendes til at opnå et estimat for den tidlige variation i drænfraktionen.

Frem mod 2024 skal der ske en forbedring af den nationale kvælstof-retentionskortlægning. En central indsats i denne forbindelse er en forbedring af den geografiske opløsning af N-retentionen, der i det nuværende nationale retentionskort er opgjort på ID15 skala, dvs. for oplande med et middel areal på ca. 15 km². Beregninger på en mindre skala øger vigtigheden af at kunne repræsentere de lokale forhold. I nogle tilfælde kan dette opnås gennem målinger. Det skønnes imidlertid, at ca. halvdelen af det danske landbrugsareal er drænet, og indsamling af data fra samtlige drænoplande er derfor ikke praktisk gennemførligt. Da drænstrømningen varierer meget både geografisk og tidsligt, og kan have afgørende betydning for transporten af kvælstof fra mark til overfladevandet, er det dog afgø-



Figur 4. Det resulterende N-retentionskort baseret på den rekaltreerede model (Model 2) koblet til N-Modellen.

rende, at der i N-retentionskortlægningen opnås et troværdigt estimat af drænstrømningen. Udviklingen af drænfraktionskortet under T-REX projektet, vil derfor indgå som et vigtig grundlag for opdateringen af først DK-modellen og efterfølgende den nationale kvælstof-model.

Referencer

- /1/ Højberg, A.L., Thodsen, H., Børgesen, C.D., Tornbjerg, H., Nordstrøm, B.O., Troldborg, L., Hoffmann, C.C., Kjeldgaard, A., Holm, H., Audet, J., Ellermann, T., Christensen, J.H., Bach, E.O. & Pedersen, B.F. 2021. National kvælstofmodel – version 2020, Metode rapport. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland. GEUS Specialrapport.
- /2/ Stisen, S., Ondracek, M., Troldborg, L., Schneider, R. J. M. & Til, M. J. V. 2019. National Vandressource Model.

Modelopstilling og kalibrering af DK-model 2019. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; vol. 2019, no. 31.

- /3/ Schneider, R., Stisen, S. & Højberg, A. L. 2022. Hunting for information in streamflow signatures to improve modelled drainage. *Water (Switzerland)*. 14, 1, 22 p., 110.

- /4/ Olesen, S. E.: Kortlægning af potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabsbelement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. 2009. Aarhus Universitet, DJF Markbrug nr. 21.

SIMON STISEN (sst@geus.dk) er professor ved Hydrologisk Afdeling, GEUS. RAPHAEL J. M. SCHNEIDER (rs@geus.dk) er forsker ved Hydrologisk Afdeling, GEUS. HAFSA MAHMOOD (hm@geo.au.dk) er Phd-studerende ved Aarhus Universitet, AU. Anker Lajer Højberg (alh@geus.dk) er seniorforsker ved Hydrologisk Afdeling, GEUS.