

Et grundvandsretentionskort på lokal skala

En del af den nitrat, der strømmer med vandet ud af rodzonen på dyrkede marker og naturarealer bliver omsat og fjernet i grundvands reducerende zoner, inden grundvandet når frem til vandløbskanten. Forskningsprojektet MapField har udviklet og afprøvet et koncept til at estimere størrelsen af nitratreduktionen i grundvandet og der er etableret kort over den lokale kvælstofretention i grundvandet (grundvandsretention) i seks små oplande.

RASMUS R. FREDERIKSEN, ANDERS V. CHRISTIANSEN, GITTE BLICHER-MATHIESEN & BIRGITTE HANSEN

Baggrund

Kvælstofretention (N-retention) er omsætningen og fjernelsen af det udvaskede nitrat (NO_3^-) fra rodzonen på dyrkede marker og naturarealer, som sker under transporten via grundvand og overfladevandssystem (dvs. vandløb, søer og vådområder) til de åbne kyster og fjorde. Den nuværende skala for N-retention er ID15-skala (ca. 1500 ha) beregnet med den nationale kvælstofmodel (1/). Det er dog nødvendigt med en mere detaljeret beregning af N-retention, hvis målrettet regulering skal give en større kvælstofreduktion. Forskningsprojektet MapField beskæftiger sig med den omsætning og fjernelse af nitrat,

som sker under transport i grundvandet, på lokal skala.

Nitratreduktion og N-retention i grundvandet

Nitrat transporteres med det strømmende grundvand gennem reduktionszoner med forskellige omsætningsrater. Hvor og hvor meget nitrat, der reduceres i grundvandet, afhænger af den fysiske placering af reduktionszonerne, hastigheden hvormed nitraten reduceres i zonerne (omsætningsraten) og hvor længe den udvaskede nitrat opholder sig i zonerne.

Størrelsen af den samlede reduktion af det udvaskede nitrat gennem de mættede sedimentter (reduktionspotentialet) angives i mg/L N. Reduktionspotentialet fremkommer ved at multiplicere den beregnede opholdstid i reduktionszonen med den tilhørende omsætningsrate for nitrat (figur 1).

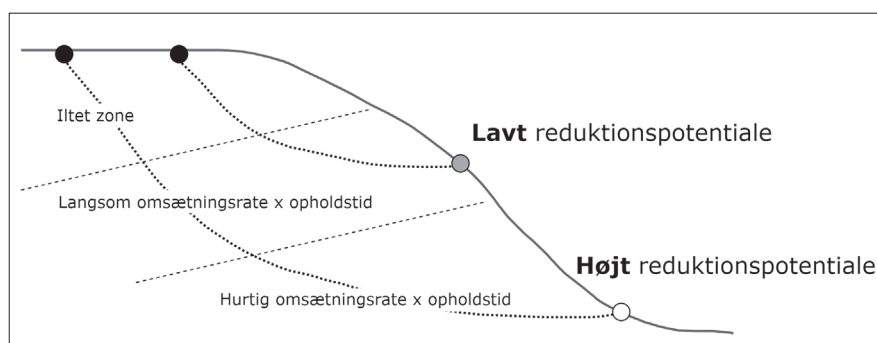
Reduktionspotentialet i grundvandet er ikke det samme som N-retention i grundvan-

det (grundvandsretention). Grundvandsretentionen fremkommer ved at dividere reduktionspotentialet i grundvandet med nitratkoncentrationen angivet i mg/L N, der strømmer med vand ud af rodzonen på dyrkede marker og naturarealer. Grundvandsretentionen angives i %.

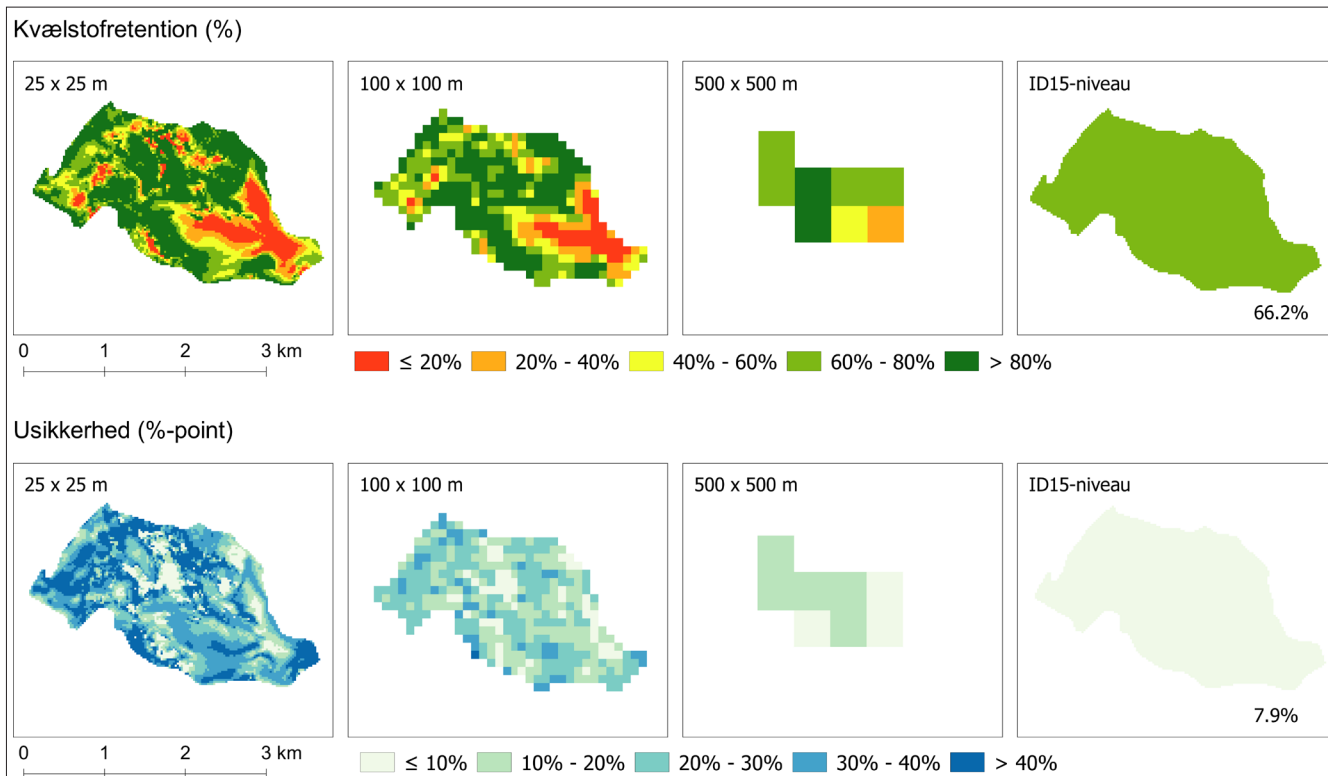
Kortlægning og modellering i MapField

I MapField projektet er omsætningsraten for nitrat i grundvandet blevet målt med acetylenblok-metoden på forskellige sedimenttyper fra centrale borer i hvert af de seks undersøgelsesområder som beskrevet i 2/. Og ved hjælp af geostatistisk modellering er der blevet bygget en tredimensionel model inddelt i zoner med forskellige omsætningsrater for nitrat i grundvandet, og som dækker hele undersøgelsesområdet som beskrevet i 3/.

Opholdstiderne for den udvaskede nitrat i reduktionszonerne i grundvandet er modsat omsætningsraterne ikke blevet målt direkte. Opholdstiden i reduktionszonerne afhænger af vandvolumens strømningsbane og hastighed. Disse er styret af henholdsvis fordelingen af ler, silt og sand i undergrunden og hvor godt eller dårligt et vandvolumen kan strømme i disse aflejringer. Undergrundens opbygning er blevet kortlagt med TEM-målinger som beskrevet i 4/ og ved hjælp af geostatistisk modellering er der blevet bygget en tredimensionel model inddelt i zoner med forskellige hydrauliske ledningsevner som beskrevet i 5/.



Figur 1. Skitse af reduktionspotentiale i grundvandet.



Figur 2. Eksempel på grundvandsretentionskort fra Lillebæk oplandet på Fyn, som viser at usikkerheden stiger (præcisionen falder) ved større detaljeringsgrad. Usikkerheden af perkolation og nitratudvaskning indgår ikke i modelberegningen af præcisionen.

I hvert af de seks oplande, som er undersøgt i MapField, er der foretaget en MapField kortlægning og modellering som beskrevet i /6/. I denne artikel viser vi resultater fra Lillebæk oplandet på Fyn.

Beregning af opholdstider i det reducerede grundvand

Det er muligt at estimere vandets – og dermed nitratens – opholdstid i grundvandsmættede sedimenters reduktionszoner ved hjælp af en hydrologisk model for vandstrømningen i grundvandsmagasinet. Dette gøres ved at foretage såkaldte partikelbanesimuleringer. I en sådan model indgår fordelingen af ler, silt og sand i undergrunden og hvor godt eller dårligt vandvolumen strømmer i disse aflejringer. I modellen indgår også informationer om dannelse og fjernelse af grundvand. Med disse data kan modellen simulere henholdsvis de baner grundvandet følger i undergrunden fra et givent sted under terrænet frem til vandløbskanten og hvor lang tid rejsen langs hver af disse baner tager. Flere detaljer om den numeriske strømningsmodel er givet i boks 1.

Beregning af reduktionspotentiale i grundvandet

Reduktionspotentialet i grundvandet er angivet som mg/L N og fremkommet ved at multiplicere den beregnede opholdstid i reduktionszoner i grundvandet med den tilhørende omsætningshastighed for nitrat

(figur 1). I Lillebæk oplandet er der blevet målt og modelleret tre typer af reduktionszoner i grundvandet. Den første reduktionszone indeholder iltet grundvand hvor omsætningsraten er 0. Den anden reduktionszone har en langsom omsætningsrate for nitrat mens den tredje reduktionszone har en hurtig omsætningsrate for nitrat. Dette tages der højde for i beregningen af det samlede reduktionspotentiale i grundvandet langs en partikelbane ved at summere reduktionspo-

tentialet for hver zone som vandvolumenet gennemstrømmer.

Beregning af nitratudvaskning fra dyrkede marker og andre arealer

Til beregning af nitratudvaskningen fra rodzonen i oplandet er NLES5 modellen blevet anvendt for dyrkede arealer /8/ og for andre arealer er der blevet anvendt et middeltal for målt nitratudvaskning fra skov, tør natur som heder og overdrev. For hver mark er der desu-

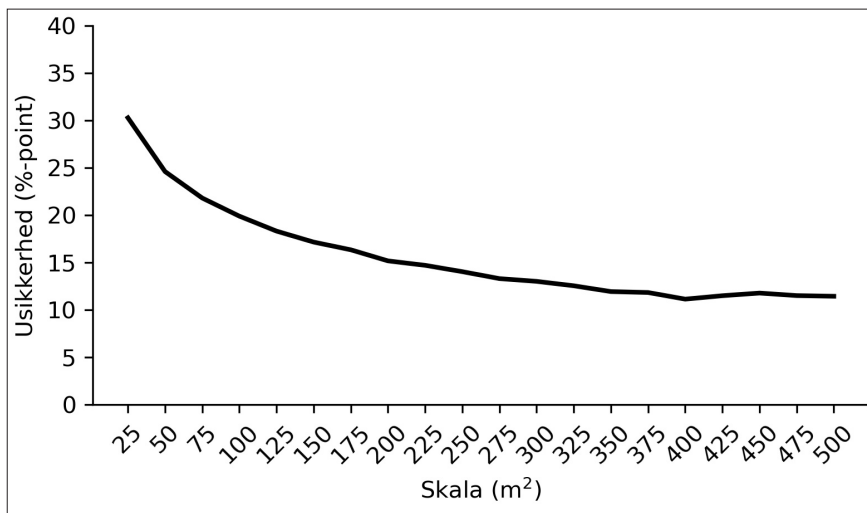
Boks 1. Numerisk strømningsmodel

Den hydrologiske model for vandstrømning i grundvandsmagasinet er bygget med MODFLOW6 (7/). Strømningsmodellen er stationær for perioden 1990/91-2009/10. Den horisontale opløsning er 25 x 25 m og den vertikale opløsning er 2 m for modellag 1-5 og 10 m for modellag 6-10. Den hydrogeologiske model er baseret på tTEM data og borerer som beskrevet i /5/.

Strømningsmodellen håndterer udelukkende strømning i grundvandssystemet og har en række randbetingelser. Vand kommer ind i modellen som grundvandsdannelse og er beregnet uafhængigt af strømningsmodellen som nettonedbør med Daisy-modellen. Vand forlader strømningsmodellen som afstrømning via dræn- og vandløbsceller. Begge celletyper er såkaldte "head-dependent flux" randbetingelser, og de bliver modelleret som et lineært reservoir, som er aktivt, hvis grundvandet står over henholdsvis drænybde eller vandløbsbund. Der er et lineært reservoir i alle modelceller i modellag 1. Vand kan ikke strømme på tværs af det topografiske opland, da det er en "no-flow" randbetingelse.

Det sikres, at strømningsmodellen kan simulere værdier for trykniveau i grundvandet og vandløbsafstrømning, som er magen til de tilsvarende målte værdier.

I partikelbanesimuleringen frigives vandpartiklerne i modellag 2 (dvs. under eventuelle markdræn) og følges frem til det sted hvor de forlader grundvandssystemet og udstrømmer til vandløb eller markdræn.



Figur 3. Usikkerheden udtrykt som præcision på grundvandsretentionen i Lillebæk oplandet på Fyn som funktion af aggregeringsniveau med MapField-konceptet. Det skal bemærkes, at usikkerheden på nitratudvaskningen fra rodzonen på dyrkede marker og øvrige naturarealer endnu ikke indgår i beregningen af den samlede usikkerhed.

den gennemført en usikkerhedsberegning af nitratudvaskningen med 1.000 realisationer, der kombinerer usikkerheder på inputparametrene for gødning, afgrøder, perkolation og jordparameter samt for modelparametrene i NLES5 modellen. Flere detaljer om beregning af nitratudvaskning er beskrevet i /9/.

Usikkerhed på grundvandsretention

En række processer har betydning for den beregnede grundvandsretention hvoraf de væsentligste indgår i modelleringen som variable med tilknyttede usikkerheder. Følgende modelvariable indgår:

- Nettonedbør
- Strukturvariable såsom hydrogeologi og reduktionszoner
- Hydrogeologiske parametervariable såsom hydraulisk ledningsevne og porøsitet
- Hydrogeokemiske parametervariable såsom omsætningsrater for nitrat

Der er foretaget 500 simuleringer af grundvandsretention i en Monte-Carlo analyse for hver modelcelle i det horisontale grid som hver har en størrelse på 25 x 25 m. Det valgte antal af simuleringer (500) har vist sig at være tilstrækkeligt for at kunne beskrive usikkerheden på modelvariablene, holde beregningstiden nede, og samtidig udføre en følsomhedsanalyse.

Grundvandsretentionen beregnes på 25 x 25 m niveau, som er cellerne i grundvandsmodellen. Da variationen i modelvariablene forplanter sig til variationer i grundvandsretentionen, er resultatet en fordeling af mulige modelforudsigelser og kort over grundvandsretentionen. Ud fra denne fordeling kan præcisionen (usikkerheden) for grundvandsreten-

tionskortene beregnes på det ønskede niveau fra 25 x 25 m og ethvert større areal som er et mangefold af 25 x 25 m. Gennemsnitsværdien af de 500 simuleringer er anvendt som udtryk for "middelværdien" og standardafvigelsen for de 500 simuleringer er anvendt som udtryk for den tilknyttede "usikkerhed".

I figur 2 ses et eksempel på grundvandsretentionskort fra Lillebæk oplandet i den oprindelige opløsning på 25 x 25 m og aggregeret til 100 x 100 m (1 ha) og 500 x 500 m (25 ha) samt til hele oplandet (ca. 400 ha i dette tilfælde). Både middelværdier og usikkerhedsværdier er vist for de fire forskellige niveauer.

Den rumlige variation i grundvandsretention, som ses på kortet med den oprindelige opløsning på 25 x 25 m, er bevaret på 1 ha niveau, næsten forsvundet på 25 ha niveau og fuldstændig væk på ID15-oplandsniveau. En detaljeringsgrad på 25 x 25 m giver en gennemsnitlig usikkerhed på 30 %-point, mens præcisionen falder til 20, 11 og 8 %-point ved en detaljeringsgrad på henholdsvis 1 ha, 25 ha og ID15-oplandsniveau. Med andre ord giver en større skala en større modelpræcisionen på den ene side men på den anden side en mindre rumlig variation i grundvandsretentionen. En mindre rumlig variation giver en dårligere mulighed for at placere virkemidler mere optimalt i oplandet i en målrettet N-regulering. Usikkerhed som funktion af skala i Lillebæk oplandet er vist i figur 3.

Nogle processer og modelvariable indgår ikke i beregningen af nitratretention i grundvandet og den tilhørende usikkerhed for de viste kort i figur 2. De viste usikkerheder er derfor sandsynligvis underestimerede. For eksempel arbejdes der på at få indbygget usikkerhed på nitratudvaskning fra dyrkede mar-

ker og andre arealer (/9/) i konceptet.

Det er afgørende, at grundvandsmodelleringen kan forudsige målte værdier såsom trykniveau i grundvandet og vandløbsafstrømning, og der er her fokus på nøjagtighed. Hvis modellen ikke kan forudsige målingerne med en vis sandsynlighed, bliver modellen falsificeret. Hvis modellen falsificeres, ændres modelvariabelværdierne og/eller øges modelkompleksiteten ved at øge antallet af modelvariable. Dette gentages indtil modellen ikke længere kan falsificeres.

Konklusion

Dataindsamling og modellering med MapField-konceptet giver mulighed for at udarbejde et detaljeret grundvandsretentionskort. Grundvandsretentionskortet giver mulighed for at placere virkemidler som for eksempel efterafgrøder mere optimalt i lokale områder med lav grundvandsretention. Dette kræver vel at mærke, at alle indgående data kan indhentes og at opholdstiderne kan beregnes med en rimelig sikkerhed.

Monte-Carlo simulering blev brugt til at estimere præcisionen for grundvandsretentionskortet angivet som standardafvigelsen for 500 simuleringer. Vi fandt, at jo højere opløsning af grundvandsretentionskortet, des bedre opløsning af den rumlige variation men des dårligere modelpræcision. Netop den rumlige variation i N-retentionen i et opland er en forudsætning for at målrettet N-regulering i landbruget kan tages i anvendelse for at reducere N-tab til vandløb og fjorde. De angivne retentioner er ikke evalueret på faktiske N-målinger i vandløbet, da overfladevandsretentionen ikke indgår. Fremtidigt arbejde bør styrke denne del, så N-retentionen kan evalueres direkte.

Resultaterne fra MapField viser, at der kan være meget store variationer i N-retentionen i grundvandet inden for et opland. De store forskelle i grundvandsretentionen betyder, at der er stor forskel på effekten af virkemidler til at reducere nitratudvaskningen på dyrkningsfladen mellem de enkelte deloplande og bedrifter. Dermed vil dataindsamlingen og modelleringen foretaget i MapField kunne understøtte en mere differentieret N-retentionsberegning, og implementeringen af virkemidler som for eksempel efterafgrøder og minivådområder kan ske hvor effekten er størst.

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/ Kim, H., Jakobsen, R., Aamand, J. & Hansen, B. 2022: Ny viden om nitratreduktion i undergrunden. Vand & Jord, nr. 4, s. 137-140
- /3/ Madsen, R.B., Sandersen, P.B.E., Møller, I., Hansen, T.M., Hansen, B., Christiansen, A.V. & Kim, H. 2022: Geostatisk model af geologi og redox. Vand & Jord, nr. 4, s. 148-151
- /4/ Pedersen, J.B., Christiansen, A.V., Auken, E. & Sandersen, P. 2022: Geoscanner til overfladenær kortlægning. Vand & Jord, nr. 4, s. 142-144
- /5/ Christiansen, A.V. & Foged, N. 2022: Fra geofysik til 3D-modeller. Vand & Jord, nr.4, s. 145-147
- /6/ Hansen, B. & Christiansen, A.V. 2022: MapField projektet. Vand & Jord, nr. 4, s. 132-136
- /7/ Langevin, C. D., Hughes, J. D., Banta, E. R., Niswonger, R. G., Panday, S., & Provost, A. M. (2017). Documentation for the MODFLOW 6 groundwater flow model (No. 6-A55). US Geological Survey.
- /8/ Børgesen, C.D. et al., 2022: NLES5 - An empirical model for estimating nitrate leaching from the root zone of agricultural land. European Journal of Agronomy 134, 126465
- /9/ Blicher-Mathiesen, G., Wienke, J., Boel, M. & Frederiksen, R.R. 2022: Nitratudvaskning på markniveau. Vand & Jord, nr. 4, s. 152-154
- RASMUS RUMPH FREDERIKSEN (rasmus.rumph@ecos.au.dk) er akademisk medarbejder ved Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet.
- ANDERS VEST CHRISTIANSEN (anders.vest@geo.au.dk) er professor ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.
- GITTE BUCHER-MATHIESEN (gbm@ecos.au.dk) er senierrådgiver ved Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet.
- BIRGITTE HANSEN (bgh@geus.dk) er seniorforsker ved De Nationale Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).



17th Annual DWF Water Research Conference, 8 February 2023

Second Announcement:

17th Annual Water Research Meeting at Grundfos Academy, 8. February 2023
Venue: Poul Due Jensen Academy, Grundfos, Poul Due Jensens Vej 21, 8850 Bjerringbro

You are invited to join the water day, where the latest results and achievements from the Danish water sector is presented.

Abstract guideline: [HERE](#) **Deadline for Abstracts 01. December 2022.** Send abstract to dwf@danishwaterforum.dk with a copy to jda@dhigroup.com. Subject Title: **ABSTRACT**

KEY NOTE: Coping with water shortage across Europe

The extreme water shortage in both North and South Europe during the spring and summer 2022 has shown the vulnerability of water supply for citizens and agriculture and certainly also for the electricity production from hydropower.

The key-note will dive into the challenges and will also look into the future to search for potential solutions such as pump-storage, groundwater recharge and other solutions

Pre-registered Sessions:
To be announced



Two awards of 10.000 DKK, sponsored by NIRAS and Grundfos, will be given to two young scientists, who present new innovative solutions in the water sector.

Members of the Scientific Committee are: Peter Englund Holm, PLEN, University of Copenhagen, Bjørn K. Jensen, GEUS; Hans Jørgen Albrechtsen, DTU Environment; Peter Henriksen, WATEC, Aarhus University; Jesper Goodley Dannisøe, DHI; Torben Lund Skovhus, VIA University College, Ole Mark, Krüger; Hans-Martin Friis Møller, KALFOR; Anders Refsgaard, COWI, Ines Breda, YWP, Ida Holm Olesen, Region Syd and Christian Schou, Aarhus Vand.

The Secretariat:

Danish Water Forum, Agern Allé 5, 2970 Hørsholm
E-mail: dwf@danishwaterforum.dk Web: www.danishwaterforum.dk