

# Retention af nitrat i ådalsmagasiner

Fjernelsen af nitrat i et ådalsmagasin afhænger af fordelingen af tre parametre i ådalsmagasinet: reduktionskapacitet, nedbrydningsrate, og vandets opholdstid. Er der sammenhæng mellem naturskønhed og effektiv nitratfjernelse? Kan effektiv nitratfjernelse ses?

SØREN JESSEN, MADIS STEINSS, SOFIE GYRITIA WEITZMANN VAN'T VEEN, TUE KOFOD & PETER ENGESGAARD

Ådalsmagasiner dannes, når åer og vandløb omlejrer det underliggende geologiske materiale. I ådals sedimentet indlejres organisk materiale, og yderligere organisk materiale afsættes efterfølgende i ådalens vådområder. Det organiske kulstof udgør den primære kilde til ådalsmagasinets potentielle reduktionskapacitet overfor tilført ilt, nitrat og sulfat.

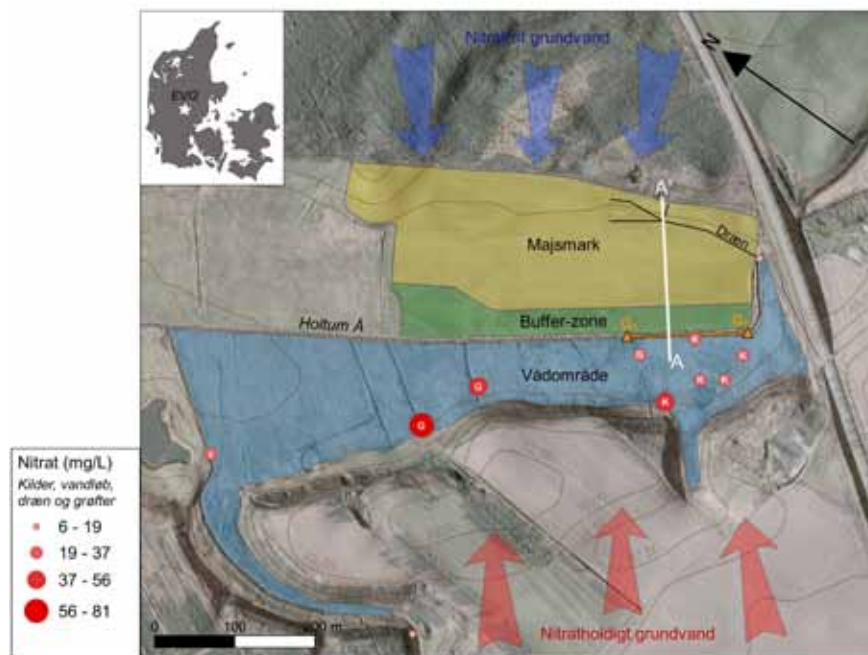
Nitratfjernelse i ådals sedimentet kan efter reduktion af ilt finde sted ved denitrifikation. Denitrifikation kan være drevet af reaktion med organisk kulstof og sulfid- og jern(2)-holdige mineraler, f.eks. pyrit eller siderit. Mineralerne kan være autogene, dvs. dannet efter aflejringen af ådals sedimentet. De elektroner, der konkret udgør mineralernes reduktionskapacitet, vil i så fald stamme fra omsætningen af det oprindeligt aflejrte organiske kulstof.

Ådalene findes i de laveste dele af landskabet, og en stor del af vandet i det naturlige hydrologiske kredsløb passerer derfor et ådalsmagasin på vejen mod havet. Nitrat i vandet bringes herved i kontakt med sedimentets reduktionskapacitet.

Ådalene er i de seneste århundreder blevet stærkt forandrede i forhold til deres naturlige udgangspunkt. For eksempel blev de vestjyske ådale udnyttet tidligere end de omkringliggende sure ufrugtbare hede-arealer. Udretning af vandløb eller dræning har fundet sted i de fleste ådale. Ådalene fremstår dog samtidig ofte meget naturskønne.

## Undersøgelser i Holtum ådal

I TReNDS-projektet er udført detaljerede feltundersøgelser af lavbund beliggende i ådale i Fensholt /1/ og Holtum. Sidstnævnte behandles i denne artikel. Holtum-lokaliteten omfatter et intensivt dyrket areal med majs



Figur 1. Gennemsnitlige nitratkoncentrationer i kilddevæld (K), vandløb (V), grøfter (G), og et dræn (D) på feltlokaliteten EVI2, i Holtum Å opland 3 km opstrøms Ejstrup sø. Det tilstødende magasin tilfører nitrat og frit grundvand. Brune linjer er højdekurver (2,5 m ækvivalens). Nitratkoncentrationen i Holtum Å er målt til  $6,4 \pm 2,2$  mg/L (februar 2016 til januar 2018). Mellem trekant-symbolerne er med orange vist strækningen hvor  $\Delta Q=600$  m<sup>3</sup>/dag er målt Engesgård et al. /2/.

beliggende over tilstrømmende nitratfrit grundvand (Fig. 1). I ådalsarealet er jordarten ferskvandsgytje udbredt, hvilket antyder et meget vådere naturligt miljø end i dag. Arealet nordøst for majsmarken er udlagt til plantage (bemærk nordpilens retning). Majsmarken drænes nær skovbrynet. En 35 m bred braklagt bufferzone ligger mellem majsmarken og Holtum Å. Holtum Å er udrettet på lokaliteten. Sydvest for Holtum Å ligger et naturskønt vådområde, hvor der findes flere kilddevæld (Fig. 1).

Med TReNDS-projektets fokus på mulighederne for en fremtidig målrettet regulering kan vi nu spørge: Kan vi – eller en uddannet oplandskonsulent /3/ – med det blotte øje se, hvor i ådalen nitrat effektivt fjernes, og hvor nitratfjernelsen ikke virker?

## Nitratfjernelse: Opholdstidsfordeling og nedbrydelsesrate

'Nitratfjernelse' angiver i denne artikel procentdelen af nitrat, der med grundvand og drænvand tilføres ådalsmagasinet, og som nedbrydes inden vandet forlader ådalsmagasinet. Nitratfjernelsen er et resultat af både vandets opholdstidsfordeling og kinetikken for nitratreduktion, dvs. nedbrydelsesraten i ådalsmagasinet.

Intuitivt kan man let forledes til at tro, at opholdstiden er lang i de relativt flade, våde lavbundsarealer nær åer. Men virkeligheden kan være den modsatte. Strømningsbaner fra hele oplandet fortættes i ådalene, som typisk kun udgør få procent af oplandets samlede areal. Hermed accelereres den gennemsnitlige strømningshastighed i ådalene til en hastighed, som er forholdet mellem ådalens og oplandets

areal større end grundvandsdannelsen. En grundvandsdannelse på f.eks. 400 mm/år i oplandet bliver dermed til en porevandsstrømnings-hastighed på 27 m/år, hvis ådalen udgør 5% af oplandets areal og under antagelse af en porøsitet i ådalsmagasinet på 0,3. Dette fører til gennemsnitlige opholdstider i ådalsmagasinet fra få døgn til få år, når ådalsmagasinerens typiske mægtighed og laterale udbredelse på 1-100 m tages i betragtning.

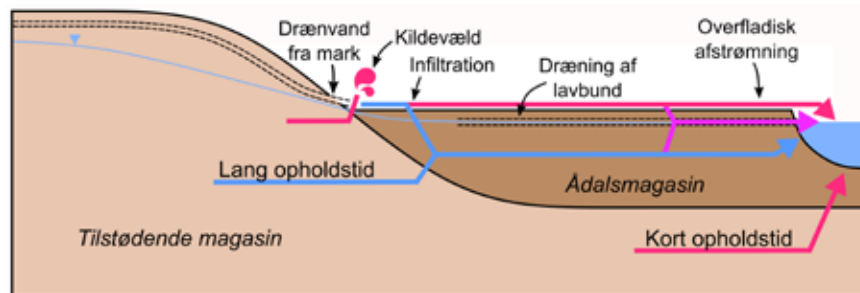
Ligeledes er det intuitivt let at tro, at ådals-sedimenters indhold af organiske materiale på ofte flere procent vil sikre nedbrydningen af tilstrømmende ilt og nitrat. Det kan imidlertid beregnes, at hvis opholdstiden er 1 år, så kan et organisk materiale-indhold på 1 vægtprocent principielt forbrændes på 6700 år, når sedimentet gennemstrømmes af iltmættet men nitratfrit vand. Hvis opholdstiden i ådalsmagasinet er 7 dage tager samme omsætning blot 130 år.

Mængden af reaktivt organisk stof, dvs. reduktionskapaciteten overfor f.eks. nitrat, vil derfor muligvis være opbrugt langs strømningsveje med korte opholdstider i et postglacialt ådals-sediment, der gennemstrømmes af iltet grundvand, og hvor tørvedannelsesraten er lille pga. dybden under overfladen eller dræning. Desuden falder reaktiviteten (den potentielt højeste nedbrydningsrate) af det resterende organisk stof drastisk efterhånden som den oprindeligt aflejrede pulje af organisk stof opbruges.

Figur 2 viser forskellige strømningsbaner gennem et ådalsmagasin. For at illustrere begrebet *opholdstidsfordeling*, er strømningsbaner med lang og kort opholdstid i ådalsmagasinet vist med hhv. blå og røde pile. Ved en given, homogent fordelt, nedbrydningsrate for nitrat i ådalsmagasinet vil der omsættes mere nitrat langs de blå end langs de røde pile. Højeste nitratfjernelse opnås, hvis alt vand (100%) passerer ådalsmagasinet via strømningsbaner med lang opholdstid. Laveste nitratfjernelse fås ved den modsatte *fordeling af opholdstid*, hvor alt vand (100%) har kort opholdstid i ådalsmagasinet.

Sammenhængen mellem opholdstidsfordeling og nedbrydningsrate er yderligere illustreret i figur 3. Her antages, at vandet følger strømningsbaner med opholdstid på enten 1 år ('lang') eller 1 dag ('kort'). Nedbrydningsraten er udtrykt som førsteordens halveringstid, som for denitrifikation i litteraturen varierer fra få timer til flere år (y-aksen i figur 3). Desuden antages, at vandet i det tilstødende magasin er iltfrit ved mødet med ådalsmagasinet.

Figur 3 viser f.eks., at hvis blot 20% eller mere af vandet følger strømningsveje med kort opholdstid, da vil nitratfjernelsen være mindre end 80%, når halveringstiden overstiger 24 timer.



Figur 2. Hydrogeologien har betydning for kontakttiden mellem grundvand eller drænvand og ådalsmagasinet. Blå og røde pile angiver eksempler på strømningsbaner med hhv. lang og kort opholdstid i ådalsmagasinet.

### Kan kort opholdstid ses?

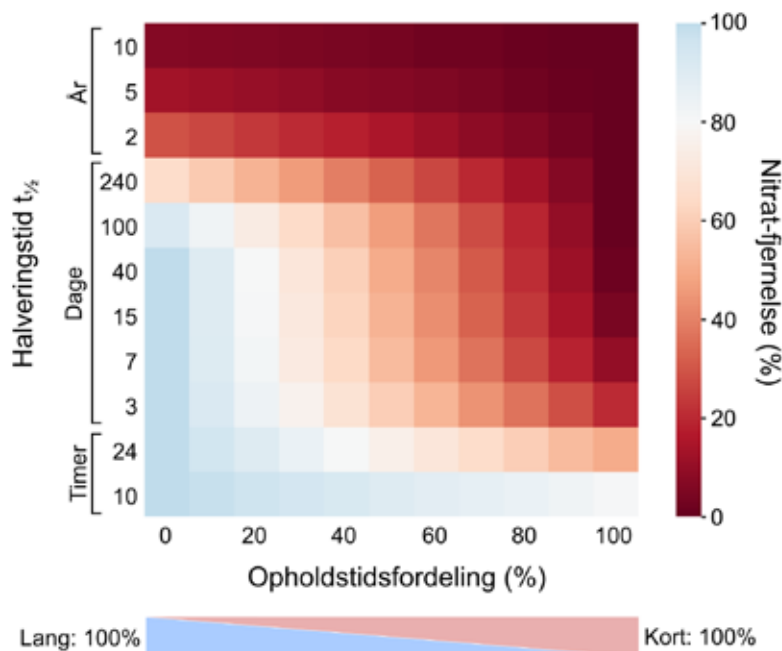
I vådområdet er målt høje koncentrationer af nitrat i kildevæld og grøfter (Fig. 1). Kildevældene fremstår umiddelbart naturlige, men grundig inspektion har vist, at de ofte udspringer ved begravede ender af gamle drænrør. Da vådområdet stadig er meget vådt, er der tale om en mislykket dræning af opadstrømmende grundvand til lavbund. Tilsvarende forefindes flere meter dybe grøfter ind imod skræntfoden sydvest for Holtum Å (synlige på luftfotoet i figur 1). I bunden af disse grøfter opvælder grundvand i således menneskeskabte kilder, tilsyneladende direkte fra det tilstødende magasin. Kilderne i grøfterne er ikke relaterede til dræn, og udviser alle stærkt forhøjede koncentrationer af nitrat. Vandet fra kilderne og grøfterne løber til Holtum Å som overfladeafstrømning.

Vi har monitoreret vandføringen fra kilder og i grøfter samt deres indhold af nitrat. I alt udleder kilder og grøfter således 238 m<sup>3</sup>/dag til åen, som samlet medfører 800 kg N/år. Denne

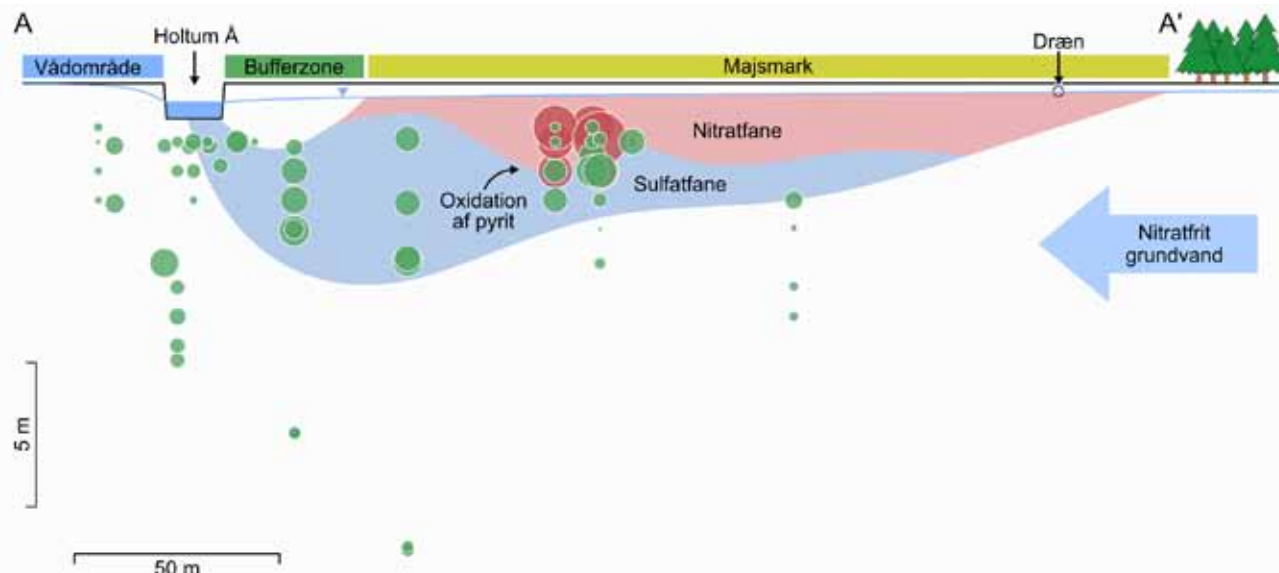
udledning modsvarer kvælstofudvaskningen fra et grundvandsdannende areal på 9 ha, når der antages en udvaskning på 90 kg N/ha/år. Udvasning af nitrat fra en signifikant del af feltlokalitetens opland kan derfor være kilden til den udledte nitrat. I overensstemmelse hermed viser grundvandsovervågningsboringer sydvest for feltlokaliteten forhøjede koncentrationer af nitrat.

På feltlokalitetens vådområde føres nitrat således til ådalen med grundvandstilstrømningen fra sydvest, og samme nitrat føres derefter straks direkte videre til Holtum Å. Det er her muligt for en let trænet person ved øjesyn at bedømme, som minimum, at en betydelig vandmængde har en kort opholdstid i passagen af ådalsmagasinet. Overfladisk afstrømning af nitratholdigt vand øger risikoen for en dårlig samlet nitratfjernelse.

Kun via omfattende instrumentering og længerevarende undersøgelser er det imidlertid muligt at bestemme de 'usynlige' vand- og nitratmængder, der transporteres gennem el-



Figur 3. Nitratfjernelse vist som funktion af opholdstidsfordeling og reaktionskinetik (1. ordens halveringstid). Aksen for opholdstidsfordeling viser den procentuelle andel af vand, der følger strømningsbaner med kort opholdstid i ådalsmagasinet.



Figur 4. Koncentrationer af nitrat (røde punkter) og sulfat (grønne punkter) målt i borer langs transekt A-A' (se figur 1). En tolket fane af nitrat infiltreret fra majsmarken og sulfat produceret ved denitrifikation med pyrit er vist med hhv. rød og blå farve. Største røde og grønne punkt svarer til hhv. 78 mg NO<sub>3</sub>/L og 123 mg SO<sub>4</sub>/L. Nitratkoncentrationer mindre end 1 mg/L er ikke vist.

ler under ådalsmagasinet til åen, og som der ved opnår hhv. lang eller kort opholdstid i ådals sedimentet. Vores undersøgelser viser en kort opholdstid for mellem 40% og 97% af vandet, der passerer vådområdet og dets underliggende ådalsmagasin fra det sydvestligt tilstødende magasin.

### Dræning i vådområdet

Figur 2 inkluderer *i*) drænen, fra omkringliggende marker, der ender ved skræntfoden til ådalen, og *ii*) drænen eller grøfter, der begynder i ådalen, og som typisk skal muliggøre dyrkning af ådalens lavbund.

Feltlokalitetens mange kildevæld udgør en pendant til afslutningen af markdrænen ved skræntfoden. Hvis udgangspunktet er, at et dræn fører markvand hele vejen til åen gennem ådalen, så kan afbrydelsen af drænet ved skræntfoden øge nitratfjernelsen. Er udgangspunktet derimod, at markdrænet slet ikke findes, da vil dets etablering med afslutning ved skræntfoden bidrage til at gøre grundvand til overfladevand, med forkortet opholdstid og mindsket nitratfjernelse til følge. På feltlokaliteten er det muligt, at de dræn-relaterede kildevæld ville eksistere, selv hvis der ikke havde været drænet, pga. det hydrauliske pres fra den store mængde grundvand, der, så at sige, skal ud.

Dræning i et vådområde med overfladeafstrømning kan øge nitratfjernelsen, hvis den øger nedsivningen af overfladevand til ådals sedimentet. Og modsat, drænen i lavbund kan forkorte opholdstiden for vand, der ellers ville have rejst længere tid gennem ådals sedimentet. Udgravningen af dybe grøfter i vådområdet kan ses at have forkortet opholdstiden i ådals sedimentet og mindsket nitratfjernelsen.

### Bufferzone ved majsmarken

Intuitivt kunne man tro, at majsmarken nordøst for Holtum Å ville give anledning til den største nitrattilførsel til åen på feltlokaliteten. Men, som antydtes ovenfor, er det tilførslen fra det naturskønne vådområde på den anden side af åen, der er størst.

Målinger viser nitratkoncentrationer på op til 78 mg/L ca. 1 m under grundvandsspejlet (Fig. 4). Ilten er opbrugt i denne dybde. Drænvandet fra majsmarken indeholder nitrat (7,4±3,2 mg/L; figur 1). Allerede 2–4 m under grundvandsspejlet er grundvandet dog frit for nitrat. Geokemisk transportmodellering viser, at den med dybden faldende nitratkoncentration alene kan forklares ved denitrifikation af nedsivende nitrat ved reaktion med pyrit. Ved nitratfronten, ca. 3 m under terrænen, er der påvist et pyritindhold på 1,5–3 mmol/kg i sedimentet, samt udført måling af raten for denitrifikation (Fig. 4). Afledte halveringstider er på 24 timer til 15 dage.

Under nitratfanen er ådalsmagasinet jern- og sulfatreducerende, hvilket understøtter autogenese af pyrit. Det må bemærkes, at sulfatreduktionen vanskeliggør afgrænsningen af fanen (Fig. 4). Den skitserede fane illustrerer dog, at en bred bufferzone kan generere infiltration af nitratfrit vand, som kan tvinge nitratholdigt vand fra baglandet nedad mod den denitrificerende zone. Samtidig har dræningen under majsmarken en delvist positiv effekt, idet den mindsker den hydrauliske gradient mod Holtum Å, hvilket øger den nedadrettede strømningskomponent i ådalsmagasinet.

### Opsummering

Feltlokaliteten viser, efter vores opfattelse,

kontraintuitive eksempler, hvor forventning og målinger giver modsat resultat på de to sider af vandløbet. Nitrat passerer det naturskønne vådområde, og reduceres under den intensivt dyrkede lavbund.

Nitratfjernelse i ådalsmagasiner afhænger af opholdstidsfordeling og fordeling af nedbrydningskapacitet og -rate, som endvidere er underlagt en sandsynlig betydelig tidslig udvikling i post-glaciale ådals sedimenter.

Ådalens hydrologi påvirkes af dræning, som forkorte vandets opholdstid i ådalsmagasinerne, og som derfor øger risikoen for en mindsket nitratfjernelse, jf. feltlokalitetens dræn og grøfter.

Fremtidige ændringer i hydrologien vil kunne øge nitratfjernelsen i forhold til status quo, under forudsætning af, at produktet af vandets opholdstid og nitratreduktionsraten i det gennemstrømmede sediment også øges.

### Referencer

- 1/ Petersen R.J., Prinds C., Iversen B.V., Kjærgaard C., 2019. Transportveje for kvælstof i lavbundsarealer. Vand & Jord, nr. 1: 30-33.
- 2/ Engesgaard P., Petersen R.J., Karlsson I., Christiansen I.M.V., Kjærgaard C., Højberg A.L., 2019. Modellering af vandstrømning i lavbundsområder. Vand & Jord, nr. 1: 37-39.
- 3/ Bjørholm S.R. og Gertz F., 2018. Oplandskonsulenter - et nyt vandforvaltningskoncept, Vand & Jord Nr. 2, 2018.

SØREN JESSEN er lektor, PETER ENGESGAARD professor og MADS STEINSS PH.D-studerende, alle ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. SOFIE GYRITIA WEITZMANN VAN'T VEEN, videnskabelig assistent, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet. TUE KOFOD, hydrogeolog, Roskilde Kommune.