Nitratreduktion i grundvand som virkemiddel

Størstedelen af den nitrat der udvaskes fra markerne bliver nedbrudt i grundvandet, inden den når frem til vandløbene. Hvis vi ved, hvor nitratreduktionen i undergrunden sker, kan vi lave en differentieret regulering, som vil være langt mere omkostningseffektivt end den hidtidige politik med ensartede regler alle steder. Men kan vi skaffe tilstrækkelig viden til at udpege sårbare og robuste arealer?

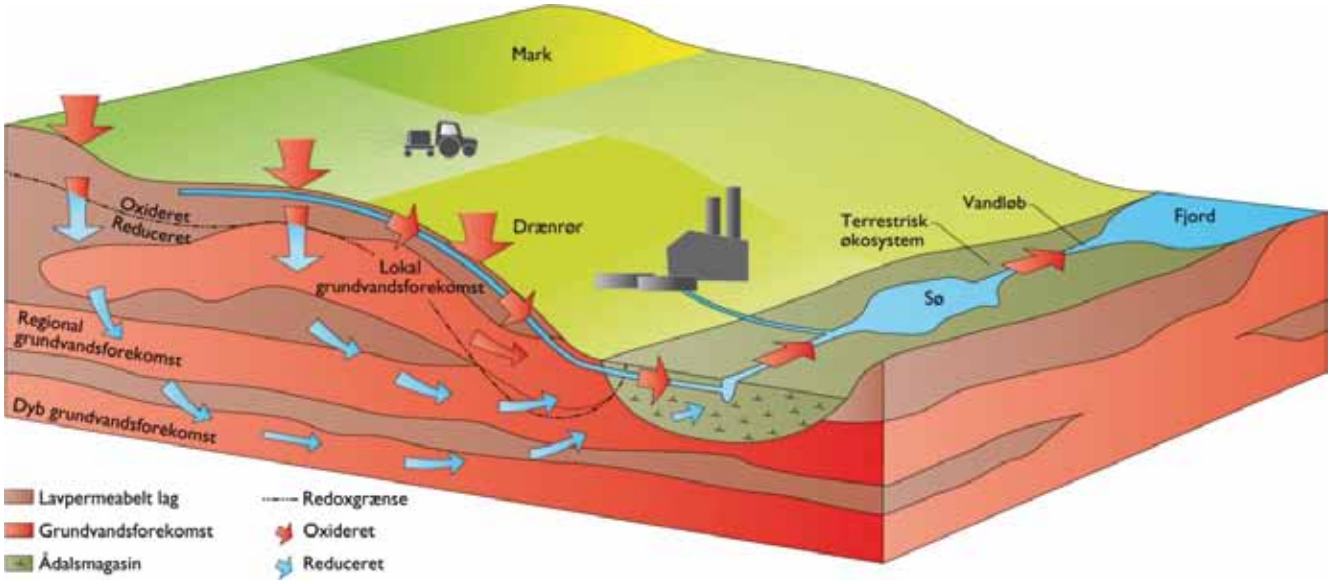
Jens Christian Refsgaard,
Esben Auken & Flemming Gertz

Nitratreduktion i undergrunden

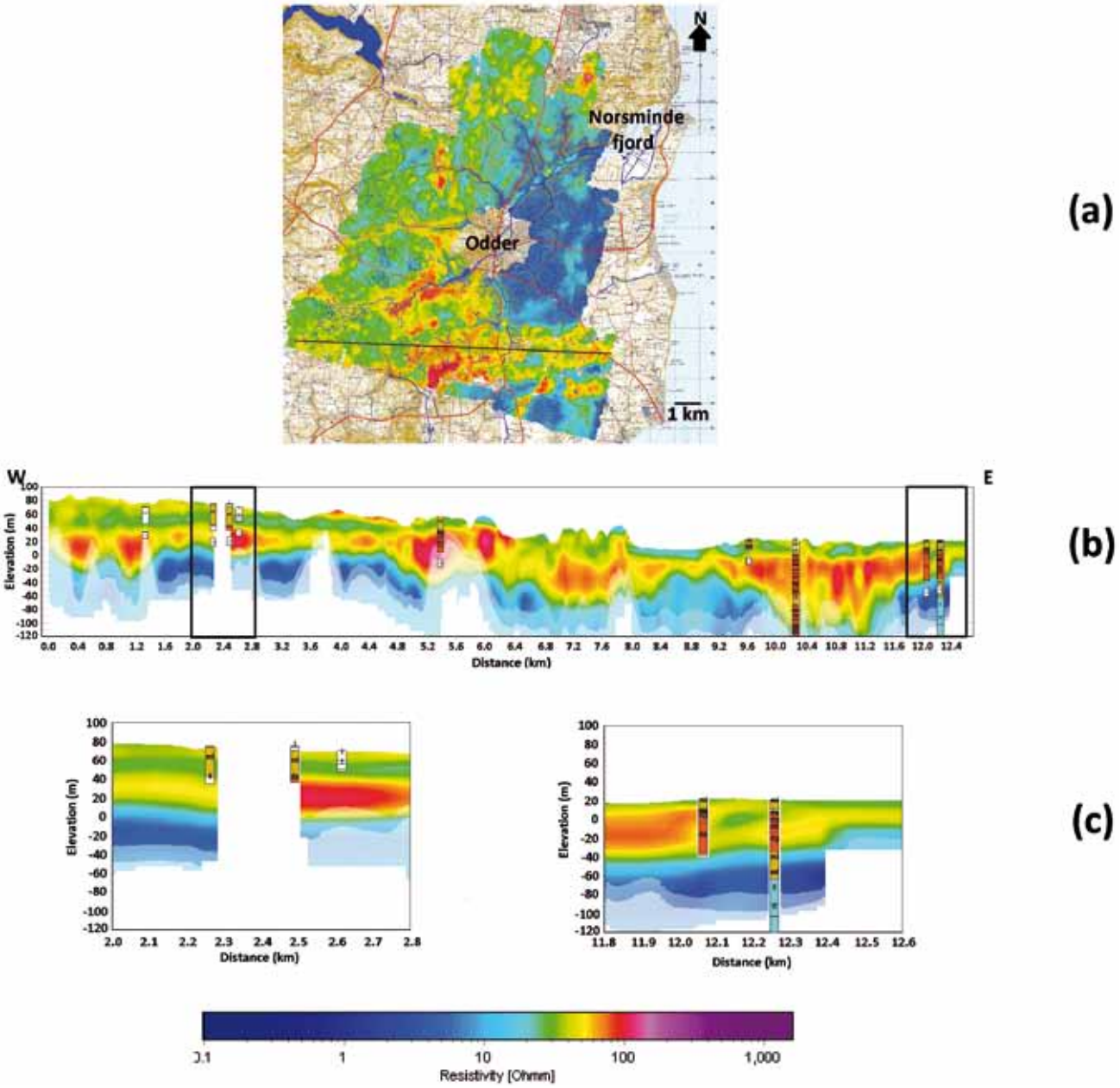
Nitratudvaskningen fra landbruget er gennem de sidste par årtier blevet halveret i forbindelse med Vandmiljøplanerne. I statens vandplaner er der lagt op til yderligere betydeligelige reduktioner ved implementeringen af det Europæiske Vandrammedirektiv. Den hidtidige danske regulering har været ens for alle områder uden skelen til, at de naturlige betingelser for nitratreduktion i undergrunden varierer betydeligt afhængig af de geologiske forhold. De generelle reguleringer rammer derfor også de dele af det danske landbrugsareal, hvor de ingen effekt får, fordi nitraten her alligevel bliver nedbrudt i jordlagene mellem rodzonen og vandløbene.

Opgørelser af nitratbalancen i Danmark viser, at ca. 2/3 af den nitrat, der udvaskes fra markernes rodzone, reduceres, dvs. omdannes til andre N-forbindelser, inden det når frem til fjorde og kystnære vande. Langt hovedparten af reduktionen sker i undergrunden, når vand med opløst nitrat strømmer mod vandløbene. Her bevæger vandet sig igennem jordlag, der geokemisk set er reducerede, hvilket indebærer at nitraten reduceres til luftformigt nitrogen (N_2). Figur 1 viser en principskitse for vandets strømning og nitratreduktionen i et morænelersområde. Grænsen mellem den oxiderede og den reducerede zone (redoxgrænsen) varierer fra et par meters dybde til mere end 50 m under terræn. Beliggenheden af redoxgrænsen er vanskelig at fastlægge på grund af relativt få data.

En differentieret indsats med fokus på arealer med lille nedbrydningskapacitet vil derfor være langt mere omkostningseffektiv. Med den nuværende viden kan vi dog ikke med tilstrækkelig sikkerhed udpege, hvilke geografisk afgrænsede områder, der har en stor hhv. lille naturlig reduktionskapacitet.



Figur 1. *Principskitse for vandets strømningsveje, redoxgrænsen og nitratreduktion i et morænelersområde. Efter /1/.*



Figur 2. *SkyTEM resultater fra Norsminde oplandet: (a) Middel resistivitet for dybden 15-20 m. (b) Tværsnit. (c) Zoom for to vinduer af tværsnit. Signaturerne i boringerne i (c) svarer til s = sand, ds = diluvial sand, dg = diluvial grus, ml = moræneler. Der er ikke en entydig skarp sammenhæng mellem resistivitet og ler/sand, men lerede sedimenter har typisk resistiviteter mindre end 50 Ohmm, mens sand og grus typisk har resistiviter højere end 60 Ohmm.*

NiCA – et Strategisk Forskningsprojekt

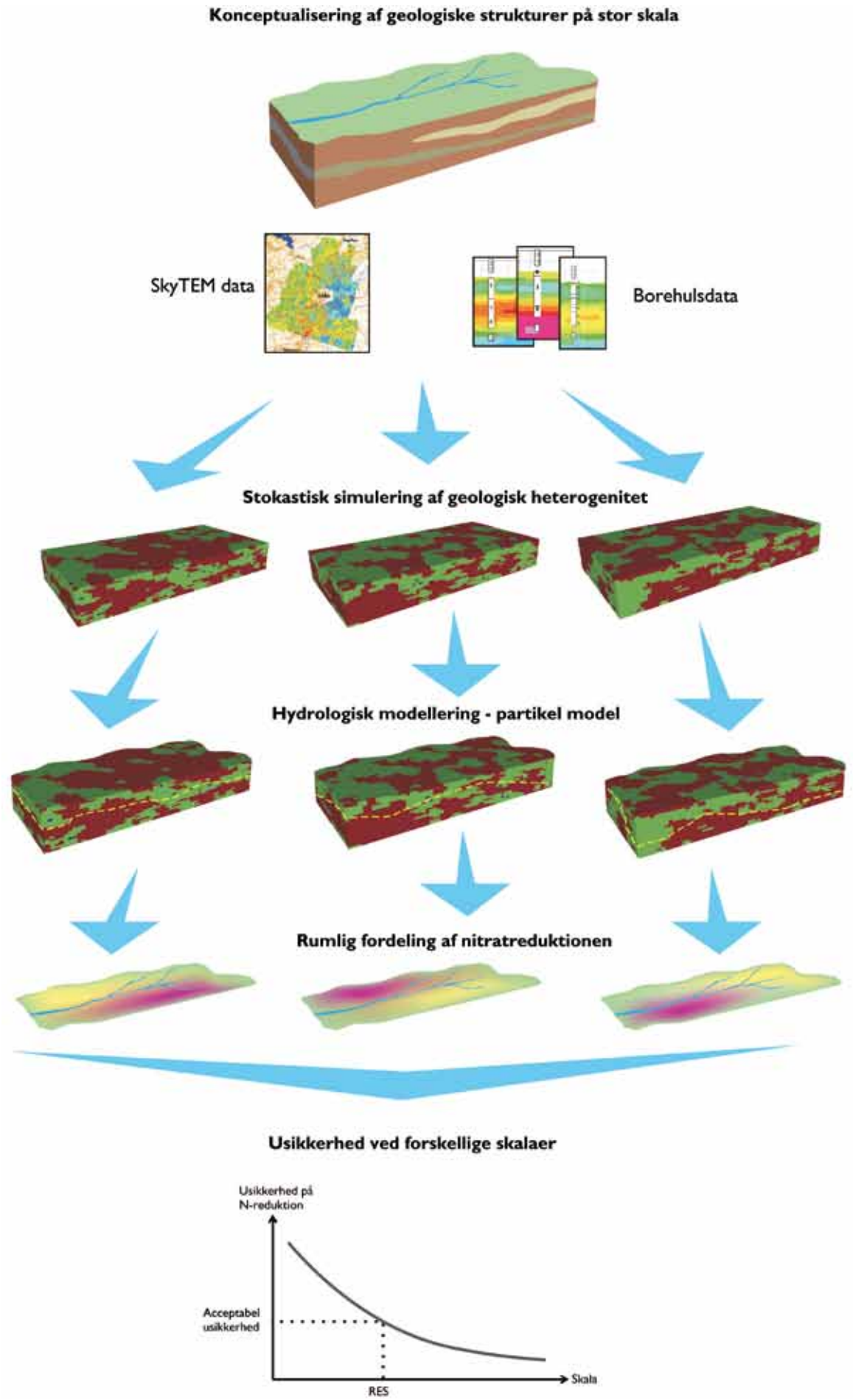
NiCA projektet (Nitratreduktion i geologisk heterogene oplande – www.nitrat.dk) er finansieret af Det Strategiske Forskningsråd med en bevilling på 14,5 millioner kr. for perioden 2010-2013. Projektdeltagerne fremgår af Box 1. NiCA udvikler nye geofysiske metoder til at kortlægge lokale geologiske strukturer og udvikler metoder til geologisk og hydrologisk modellering af transport og nedbrydning af nitrat i undergrunden. Værktøjerne testes i to oplande: (i) Landovervågningsoplandet Lillebæk (5 km^2) på Sydøstfyn; og (ii) Oplandet til Norsminde Fjord (101 km^2) ved Odder.

Fladedækkende geofysisk kortlægning – nyt SkyTEM system

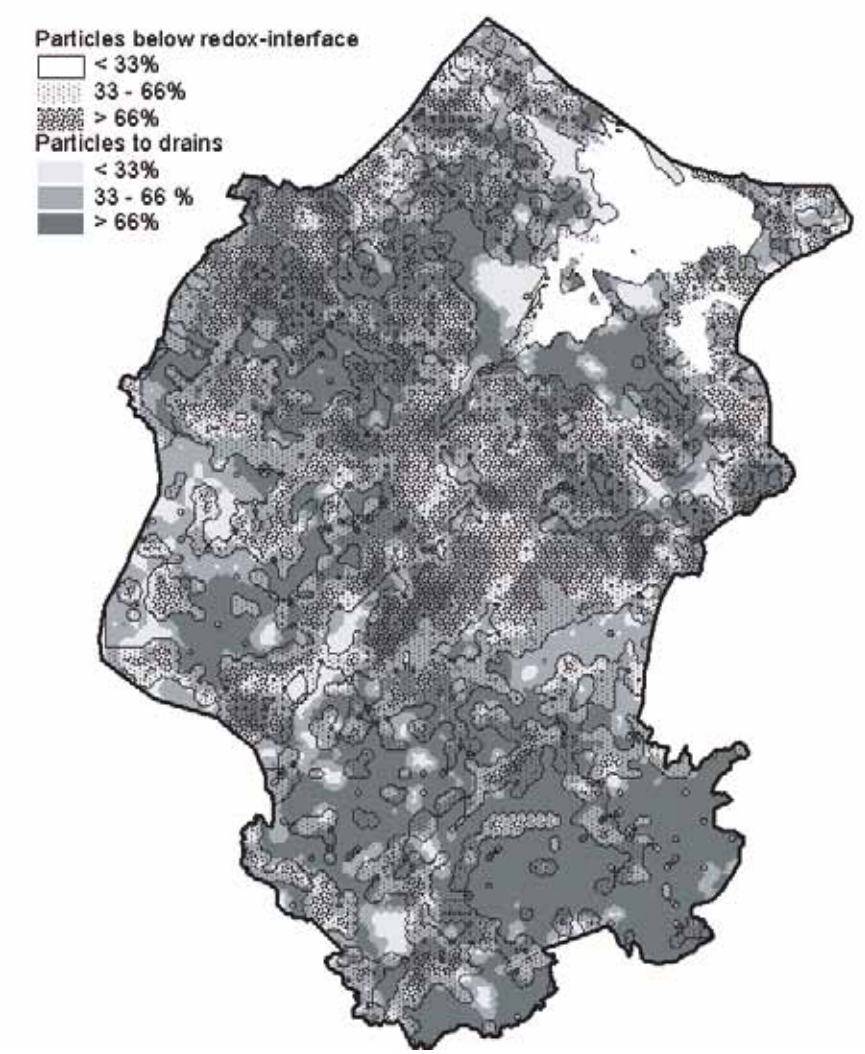
Det helikopterbårne SkyTEM system, som kendes fra grundvandskortlægningen, er blevet videreudviklet i NiCA. Det nye Mini-SkyTEM (eller SkyTEM102) system har en mindre ramme under helikopteren og har fået videreudviklet instrumentering og data processering. Systemet opereres i en højde på 30 – 40 m over jordoverfladen og med en hastighed på helt op til 140 km i timen. Det er i stand til at give en langt bedre rumlig opløsning af geologiske strukturer fra overfladen og til en dybde af omkring 100 m. I denne sammenhæng er det dog mest de øver-

Boks 1 NiCA partnere

- GEUS (projektleder)
- Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet
- Institut for Geoscience, Aarhus Universitet
- Aarhus Geophysics Aps
- Videncentret for Landbrug
- Fødevareøkonomisk Institut, Københavns Universitet
- Laval University, Quebec, Canada
- Alectia A/S
- Aarhus Kommune
- Odder Kommune
- SkyTEM Surveys Aps
- DHI



Figur 3. *Overordnet koncept for geologisk og hydrologisk modellering og analyser af prædiktiv skala (RES) i NiCA.*



Figur 4. *Resultater fra partikelbaneberegninger for Odense Fjord oplandet. Figuren viser modellens opfattelse af både hvor stor en andel af vandet, der har været under redoxgrænsen, er dermed nitratfrit, inden det når frem til vandløbene, og hvor stor en andel af vandet, der når vandløbet via dræn. Figur fra et tidligere studie /4/. NiCA vil i tillæg til et sådant kort med information om reduktionsfaktorer beregne usikkerheden på disse reduktionsfaktorer.*

ste 30 m som er interessante, da det er her størstedelen af vandet strømmer. I de øverste jordlag er den rumlige opløsning 25 – 50 m horisontalt og et par m vertikalt, mens den bliver grovere med dybden. Figur 2 viser et kort og et profil med resistivitetsværdier for Norsminde oplandet /4/. Sammenligninger mellem elektriske modstande (resistiviteter) og boringsinformationer, som illustreret nederst i Figur 2, viser generelt en meget fin overensstemmelse. De store variationer i resistiviteter afspejler nogle sammenhængende og mange spredte forekomster af sand og ler. Denne opløsning er helt unik, og kan kun opnås med det det nye SkyTEM system.

Geologisk og hydrologisk modellering

Geologien tolkes indledningsvis ud fra en geologisk forståelsesmodel som bestående af store strukturelle enheder. Norsminde oplandet er inddelt i syv enheder som bl.a. øvre glaciale aflejringer, miocene aflejringer, begravede tunneldale og et glaciotektonisk kompleks. Indenfor de øvre glaciale aflejringer sker der en yderligere inddeling på gridniveau (20 x 20 x 2 m) i sand og ler på baggrund af en kombination af geofysiske data og boringsinformationer. Eftersom der er usikkerheder på både boringsinformationer og de geofysiske data, og der heller ikke er nogen entydig sammenhæng mellem resistivitet og sand/ler, vil der være usikkerheder i den geologiske tolkning. Inddeling på gridniveau samt de tilhørende usikkerheder kvantificeres ved hjælp af såkaldte stokastiske geologiske værktøjer /2/ hvorved der genereres flere, lige sandsynlige, geologiske modeller. For hver af disse geologiske modeller opstilles en numerisk strømningsmodel baseret på MIKE SHE programmet. Den andel af perkolationen (vand der indeholder nitrat) fra rodzonen, der transporteres ned under redoxgrænsen, inden det når vandløbet (nitrat reduktionsfaktor), vil blive beregnet med partikelbanemodeller (modeller der forudsiger hvordan vandpartikler med tiden bevæger sig fra jordoverfladen og igennem de geologiske lag). Ved at sammenligne reduktionsfaktorer for de forskellige geologiske modeller kan usikkerheden på hvor godt modellen kan forudsige reduktionsfaktorer beregnes. Denne metodik er illustreret i Figur 3. Vi forventer at nå frem til en sammenhæng mellem usikkerhed på forudsigelse og rumlig skala som vist nederst på figuren, dvs. at for små områder vil der være stor usikkerhed, mens der for store områder vil være mindre usikkerhed. Spørgsmålet om, hvornår en model er god nok til forvaltningsbrug, vil således afhænge af den rumlige skala, hvorfra resultaterne benyttes, samt af den ønskede nøjagtighed (= acceptabel fejlmargen).

Eftersom datagrundlaget for vurdering af dybden til redoxgrænsen langt de fleste steder er mangelfuldt vil usikkerheden på redoxgrænsens beliggenhed blive medtaget i analyserne. Desuden vil NiCA forsøge at finde sammenhænge mellem geologien og redoxgrænsen for herigennem at kunne reducere denne usikkerhedskilde.

Aktiv involvering af interessenter – selvforvaltning?

I Norsminde oplandet findes en aktiv kreds af lokale interessenter, som har været involveret i flere tidligere og nuværende forsknings-, udviklings- og demonstrationsprojekter, bl.a. EU LIFE projektet AGWAPLAN. I maj 2012 blev et selvstyrende oplandsråd for Norsminde Fjord etableret med deltagere fra landmænd, grønne organisationer samt Odder og Aarhus kommuner. NiCA vil i tæt samarbejde med landmænd i Norsminde oplandet undersøge de mulige økonomiske gevinster og omkostninger ved at benytte NiCA metoderne til udpegning af robuste og sårbare områder. Vi planlægger at gennemføre økonomiske analyser af tre forskellige strategier (Box 2). Den første strategi er en fortsættelse af nuværende praksis med centralt styrede ensartede reguleringer. Den anden strategi inkluderer viden om nitratreduktion i undergrunden med mulighed for differentieret regulering. Den tredje strategi er baseret på kollektiv selvforvaltning, hvor landmændene bidrager med viden på markdriftniveau. Herved kan det fulde potentiale ved den nye viden om sårbare og robuste arealer i højere grad udnyttes og derved potentielt forbedre grundlaget for valg af omkostningseffektive virkemidler.

Boks 2. Strategier for nedbringelse af nitrattransport til Norsminde Fjord

Ensartet regulering
Der benyttes en ensartet reduktionsfaktor for nitratreduktion i undergrunden. Der udvælges virkemidler, svarende til dem der typisk benyttes af centraladministrationen. Denne strategi svarer til en fortsættelse af den hidtidige praksis.

Differentieret regulering
Der tages hensyn til viden (fra NiCA) om hvorledes nitratreduktionen i undergrunden varierer over oplandet. Der benyttes de samme virkemidler som under 'Ensartet regulering'.

Kollektiv selvforvaltning
Med (NiCA) viden om nitratreduktionen i undergrunden udarbejdes en plan, hvor landmændene ikke er bundet af bestemte sammensætninger af virkemidler for den enkelte landbrugsbedrift, men i fællesskab kan beslutte hvilke virkemidler, der skal anvendes hvor. Planen skal opnå det samlede reduktionsmål som de centralt styrede planer. Denne strategi udarbejdes i tæt samarbejde med lokale landmænd.

Perspektiver for vand- og naturforvaltning

I denne artikel benytter vi begreberne robuste og sårbare arealer udelukkende om nitratreduktion i undergrunden i relation til nitratbelastning af vandløb, søer og fjorde. I forbindelse med grundvandsbeskyttelse benyttes sårbarhed i relation til risikoen for grundvandsforurening med nitrat, ligesom der ofte tales om pesticidfølsomme områder. Det er vigtigt at fremhæve, at det ofte ikke er de samme områder, der er følsomme/sårbare overfor nitratforurening af overfladevand, nitratforurening af grundvand og pesticidforurening af grundvand.

På grund af den uensartede nitratreduktion i undergrunden vil nogle områder bidrage med meget nitrat mens andre områder, som måske har den samme udvaskning fra rodzonen, vil bidrage med lidt eller ingen nitrat. Eftersom nitratreduktionen i undergrunden i de fleste oplande er langt større end den samlede reduktion i vådområder, vandløb og søer er der store perspektiver i aktivt at benytte nitratreduktionen i grundvandssystemet som et virkemiddel til at få nedbragt nitratbelastningen til søer og fjorde. Hvis vi for eksempel kan nå frem til et resultat, hvor måske 10-20% af et opland bidrager med måske 40-70% af nitratbelastningen, vil der kunne gennemføres meget mere omkostningseffektive virkemidler end hvis der bare gennemføres ensartet regulering . I sin yderste konsekvens kunne det tænkes at der udtages nogle (sårbare) arealer helt fra landbrugsdrift og tillades mindre nitratregulering på andre (robuste) arealer.

Så drastige indgreb vil formentlig, fra både interessenter og politisk side, kræve en stor grad af sikkerhed for at det nu også virker efter hensigten. En forudsætning for på den måde at kunne benytte nitratreduktionen i undergrunden som virkemiddel er derfor, at vi har tilstrækkelig viden om vandets strømningsveje på lokal skala, hvilket kræver bedre geologiske informationer, end vi har i dag. Her er det nye SkyTEM system meget interessant. De foreløbige vurderinger af de nye SkyTEM data er meget positive, men vi mangler endnu at teste dataene i hydrologiske modeller. Før vi har gennemført disse analyser, kan vi ikke sige på hvilken skala og med hvilken sikkerhed, vi vil kunne foretage udpegningen af sårbare og robuste områder. Den absolut nedre grænse vil være den rumlige opløsning af SkyTEM dataene, dvs. ca. en kvart ha. Men eftersom geofysiske data er indirekte målinger og skal transformeres til elektriske ledningsevner, geologiske enheder og hydrauliske ledningsevner, vi har begrænset modellerings kapacitet og eftersom der er andre usikkerhedskilder, som fx redoxgrænsens beliggenhed, vil der uundgåeligt være "støj". Denne støj betyder, at vi formentlig ikke kommer ned i nærheden af en kvart ha. På nuværende tidspunkt forventer vi, at konklusionen bliver et sted mellem 10 ha og 10 km^2, bl.a. afhængig af den ønskede nøjagtighed.

NiCA vil beregne usikkerhederne for hvert enkelt beregningspunkt i partikelbanesimuleringer. Dvs. at vi vil kunne producere usikkerhedskort, som kan lægges ovenpå partikelbaneresultater med procent nitratreduktion i undergrunden (som Figur 4, der stammer fra et tidligere studie). Sådanne resultater vil formentlig vise, at der er nogle områder, hvor partikelbaneberegningerne vil være rimeligt sikre, mens der vil være andre områder, hvor usikkerhederne er meget store. Dvs. at vi kan forvente, at det vil være muligt i nogle dele af et opland at udpege robuste og sårbare områder med tilstrækkelig sikkerhed, mens det måske ikke vil være muligt i andre dele af det samme opland.

Under alle omstændigheder vil NiCA kunne give værdifuld information og erfaringer om den fejlmargen, der kan forventes ved at benytte koblede overfladevands-grundvandsmodeller og partikelbaneberegninger til udpegning af robuste og sårbare områder.

Referencer

/1/ Hinsby K, de Melo MTC, Dahl M. 2008. European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. Science of the Total Environment, 401(1-3), 1-20.

/2/ Carle SF, LaBolle EM, Weissmann GS, Van Brocklin D, Fogg GE. 1998. Conditional simulation of hydrofacies architecture: a transition probability/Markov approach. In: Fraser GS, Davis JM, editors. Concepts in hydrogeology and environmental geology, 1. SEPM Special Publication; 1998. p. 147–70.

/3/ Hansen JR, Refsgaard JC, Ernstsen V, Hansen S, Styczen M, Poulsen RN. 2009. An integrated and physically based nitrogen cycle catchment model, Hydrology Research, 40(4), 347-363, 2009.

/4/ "SkyTEM rapport". HydroGeophysics Group, Aarhus Universitet, tilgængelig på www.hgg.au.dk

Jens Christian Refsgaard er professor i Hydrologisk Afdeling, GEUS og leder af NiCA projektet. E-mail: jcr@geus.dk

Esben Auken er lektor og leder af den hydrogeofysiske forskningsgruppe ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.

Flemming Gertz er landskonsulent ved Videncentret for Landbrug og arbejder med udvikling af nye virkemidler i relation til Vandrammedirektivet.