

Texturer, strukturer og vand/stof-transportveje i øvre morænelag med fokus på nitrat

PETER R. JØRGENSEN, FINN EILAND, TINA HELSTRUP, MARINA B. JENSEN,
FINN VINThER & JOHANNE URUP

Jørgensen, P. R., Eiland, F., Helstrup, T., Jensen, M.B., Vinther, F. & Urup, J. 2002–12–11: Texturer, strukturer og vand/stof-transportveje i øvre morænelag med fokus på nitrat. DGF grundvandsmøde 31. oktober 2002. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 2, pp. 2–5, København.

Vurderinger af nitratudvaskning gennem moræneler baseres oftest på metoder, der ikke skelner mellem sprækker og lermatrix. Ny viden sætter kritisk lys på egnetheden af disse metoder til vurderinger af grundvands sårbarhed over for nitrat i morænelersområder.

En stor del af vandindvindingen i Danmark sker fra grundvandsmagasiner beliggende under dæklag af moræneler. Nedsivningen gennem de øvre lerlag foregår i høj grad i sprækker, bioporer og tynde vandførende lag. Disse kan stå for mere end 95% af den samlede gennemsivning. Til sammenligning er vandbevægelsen i det store omgivende volumen af usprækket lermatrix ofte kun er nogle få mm/år i morænelag med større ler indhold end ca. 15%.

Ud over sprækkernes store hydrauliske betydning er de også lokaliserende for nedtrængning af rødder fra vegetationen. I de øverste meter af lerlagene kan rødder findes som måtter i sprækkerne, mens større rødder, fx fra træer, kan danne hydraulisk aktive kanaler i og udenfor sprækker ned til mindst 5–6 m under terræn. Strømningen i sprækkekanalerne kan være op til flere km/dag. Det ser ud til at nedtrængningsdybden for disse rødder er koblet til dybden af

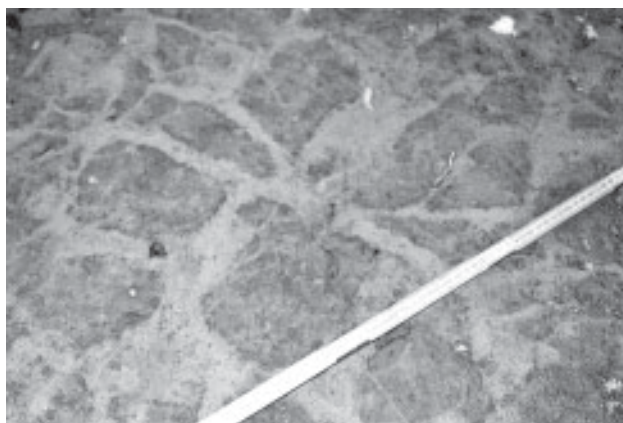
det første tilstrækkeligt vandførende sandlag/sandlinse i lerpakken.

Det afsatte organiske indhold i sprækkerne fra rod-materialet, eller evt. andet nedsivende organisk stof, danner grundlag for at der udvikles jern-reducerende forhold i sprækkerne. Dette sker primært under høj grundvandsstand (vandmætning) i vintersæsonen. Resultatet af jernreduktionen ses tydelig som en markant gråfarvning omkring sprækkerne, der står i kontrast til den gulbrune grundfarve af den øvrige lermatrix (Fig. 1). Gråfarvningen optræder langs sprækker og bioporer i fleste danske oxiderede moræneprofiler.

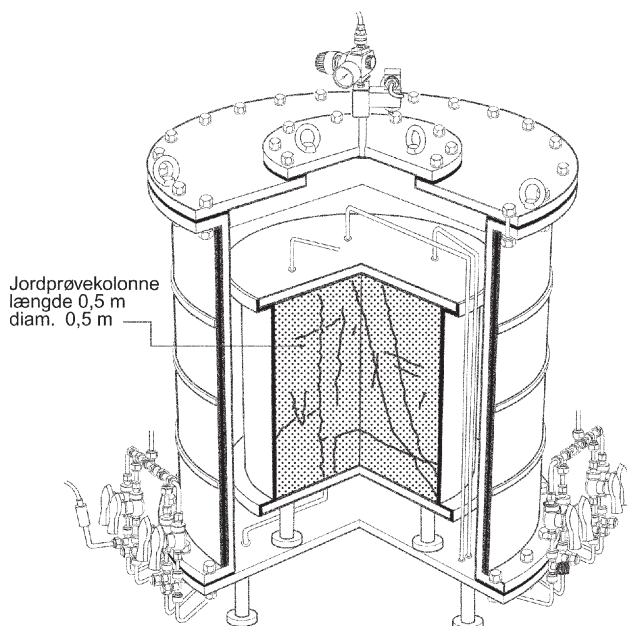
Transport og reduktion af nitrat under skov og landbrug

Lokaliseringen af både rodvækst og strømningen i sprækkerne betyder at sprækkerne og matrixen er grundlæggende forskellige både med hensyn til nitrattransport og de porevandskemiske reaktioner der reducerer nitrat.

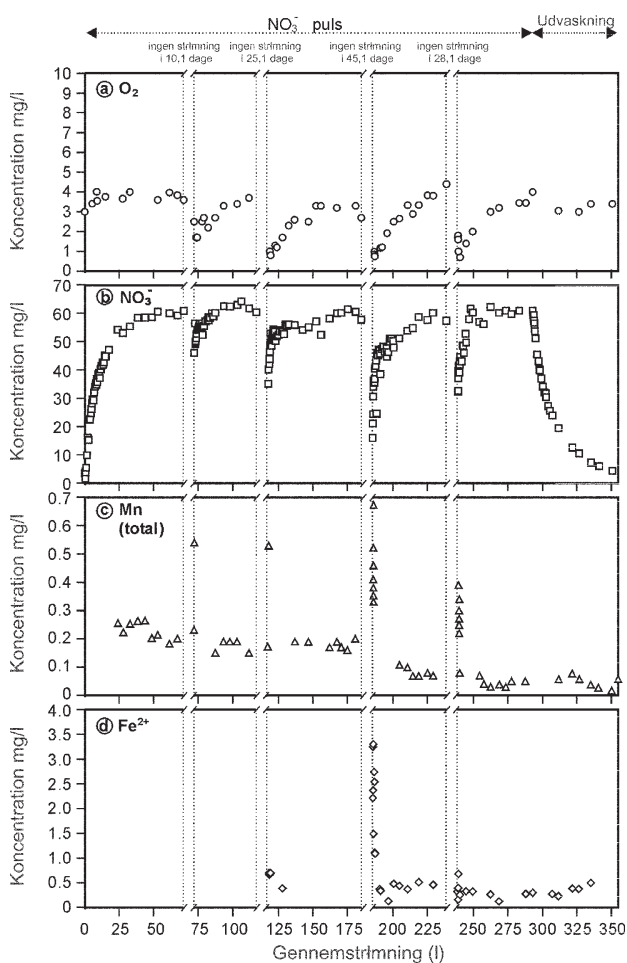
For at undersøge betydningen af denne forskel blev gennemstrømningen og omsætningen af nitrat målt under aktiv sprækkestrømning i store morænelersblokke (diameter = 0.5 m). Blokkene blev udtaget dels under en skov (primært bøg) og dels under en nærliggende mark (skiftende kornafgrøder). Forsøgene blev udført i en triaksial opstilling (Fig. 2), hvor *in situ* tryk- og temperaturforhold kan genskabes i la-



Figur 1. Jern-reducerende forhold i sprækker ses i de fleste oxiderede danske moræneprofiler. Resultatet af jernreduktionen ses som en markant gråfarvning omkring sprækkerne, der står i kontrast til den mørkere grundfarve af den øvrige lermatrix.



Figur 2. Triaxial forsøgsopstilling hvor in situ tryk- og temperaturforhold kan genskabes i laboratoriet.



boratoriet for udtagningsdybderne af søjlerne (1,7–4 m under terræn).

Vandstrømning i sprækkerne udgjorde mere end 95% af den samlede strømning i lermaterialet, og svarer derved til de forhold der er målt andre steder i Danmark ved søjle- og feltforsøg. På grund af den meget langsomme strømning i matrixen skete udvekslingen af nitrat mellem mobilt vand i sprækkerne og det næsten immobile vand i matrixen hovedsagligt ved diffusion. Transporten af nitrat til reducerede forbindelser i matrix er således styret af lateral diffusion fra sprækkerne ind i matrixen, og kun i ringe grad som en selvstændig nedsivende nitratfront gennem matrixen.

Porevandskemiske målinger af mobilt porevand (hvoraf > 95% som nævnt stammer fra sprækker og bioporer) viste at ilt og nitrat blev fjernet (reduceret) fra porevandet under transporten, samtidig med at der skete en stigning i indholdet af opløst reduceret jern og mangan (Fig. 3). Stigningen af jern og mangan i porevandet er sket ved reductive opløsning af de oxiderede sekundære jern- og manganminerale langs sprækkerne, hvilket er i overensstemmelse med feltobservationerne af de afblegede sprækkevægge (Fig. 1).

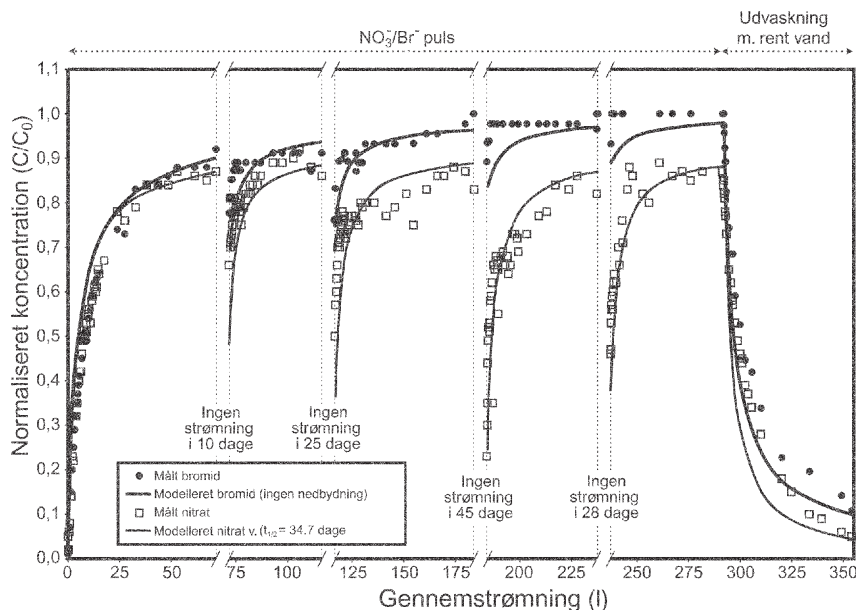
Nitratreduktionsraten blev estimeret ved hjælp af en numeriske strømnings- og stoftransportmodel (FRACTRAN), der forinden var kalibreret imod en konservativ tracer (bromid) gennem søjlerne (Fig. 4).

Disse resultater viser at nitratreduktionen skete som en 1. ordens reaktion, med halveringstider ($t_{1/2}$), der aftog med dybden (1,5–3,5 m) fra 7–35 dage på skovlokaliteten og 1–7 timer (1,7–2,4 m under terræn) på landbrugslokaliteten. Det bør bemærke at der generelt er tale om høje reduktionsrater, særligt for landbrugsarealanvendelsen.

Nitratreduktionsraten i forsøgene var positivt korreleret til jordens indhold af opløseligt organisk kulstof og antallet af nitratreducerende bakterier. Begge parametre var meget kraftigt forhøjede under landbrugsjorden, og sidstnævnte tillige specifikt forhøjede omkring sprækkerne. Omvendt var koncentrationen af totalt organisk kulstof næsten identisk under de to arealanvendelser og derfor ikke egnet som indikator for det forhøjede potentiale for nitratreduktion på landbrugslokaliteten.

Forsøgene viste at det høje indhold af opløseligt organisk kulstof i landbrugsmorænen blev udvasket ved en gennemstrømning af kulstoffattigt vand sva-

Figur 3. Porevandskemiske målinger af mobilt porevand (>95% stammer fra sprækkestrømning) viser at samtidig med at ilt og nitrat bliver fjernet fra porevandet under transporten, stiger indholdet af opløst reduceret jern og mangan.



Figur 4. Modelkalibrering af FRAC-TRAN over for konservativ tracer (bromid) og efterfølgende modelestimation af nitrareduktionsraten ud fra de observerede forskelle mellem koncentration af bromid og nitrat i udløbet fra en stor intakt søjle fra skovlokaliteten nævnt i teksten.

rende til 2–5 års nettonedbør. I takt hermed mistede jorden sin høje nitratreduktionskapacitet. Ved infiltration af en frisk, reaktiv kulstofkilde (i dette tilfælde en kraftig pesticidpuls) skete der en fuldstændig reablering af nitratreduktionspotentialet.

Resultaterne tyder således dels på at en tæt sammenhæng mellem nitratreduktionspotentialet og indholdet af opløst organisk kulstof og dels at denne egenskab/parameter må forventes at kunne variere betydeligt i rum og tid, afhængig af den umiddelbare arealanvendelse, jordbehandling og lignende.

Konsekvensvurderinger ved modellering

Både transporten og reduktionen af nitrat gennem lerblokkene kunne beskrives med god tilnærmelse ved hjælp af sprækkemodellen FRACTAN (Fig. 5). Forsøgene og modelleringen viste at høje vertikale nitratflux-værdier var knyttet til strømningsrater, svarende til ekstrem nedbørshændelser under feltforhold. Den realistiske beskrivelse af nitrattransporten åbner mulighed for at bruge FRACTAN eller den tilsvarende 3D version af modellen FRAC3Dvs til konsekvensvurderinger af nitratudvaskningen til grundvandet under lerlag. Herved kan resultatet af forskellige dyrkningsmæssige begrænsninger og forvaltningsløsninger, herunder skovrejsning på tidligere landbrugsarealer, vurderes mere realistisk end det er muligt med traditionelle metoder.

På trods af de høje nitratreduktionsrater der er målt

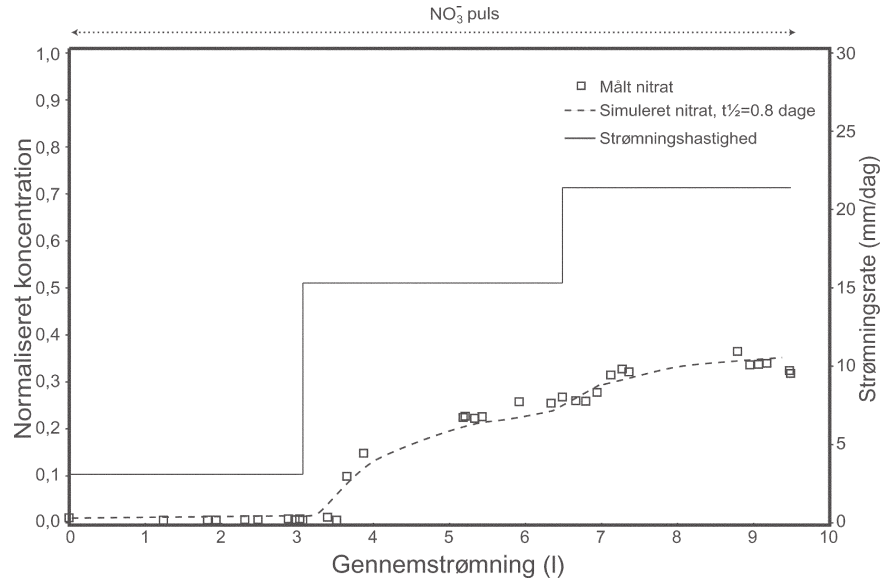
i laboratorieforsøgene, må det forventes at der på felt-skala vil kunne ske nitratudvaskning gennem lerlag. Dette kan skyldes meget høje strømningshastigheder (> 1 km/dag) i sprækkekanaler og transport i sprækker, hvor nitratreduktionskapaciteten langs sprækkerne er opbrugt. Disse forhold syntes at være mindre kraftigt repræsenteret i de udgravninger hvor søjlerne til forsøgene blev udtaget, end det er observeret på visse andre lokaliteter.

Ved modelvurderinger af nitratudvaskningen i konkrete drikkevandsområder kan disse mangler kompenseres dels ved at indbygge statistiske data for sprækkekanaler og dels ved supplerede målinger af nitratreduktionskapaciteten langs gennemgående sprækker i borer eller udgravninger.

Konklusioner

- Nitratudvaskningen i moræner sker fortrinsvis gennem sprækker og indlejrede sandlag, der ofte står for mere end 90% af den samlede grundvandsdannelsen.
- Monitering af udvaskning og bestemmelse af reduktionskapacitet for nitrat bør kobles til den heterogene fordeling af strømmingen gennem lerlagene.
- Nitratreduktionen i forsøgene skete primært i og omkring sprækker.
- Nitratreduktionen skete op til 100 gange hurtigere under landbrugsjord end under skovjord.
- Forskellen i nitratreduktionsrate mellem skov og

Figur 5. Målt og FRACTRAN-simuleret udvaskning af nitrat ved varierende strømningshastighed fra stor intakt morænesøjle udtaget under landbrugsjord. Modellen er kalibreret ved een strømningshastighed og beskriver derefter nitratudvaskningen rimeligt ved de øvrige strømningshastigheder uden yderligere kalibrering.



landbrug korrelerede positivt med indholdet af opløst organisk kulstof i det mobile porevand samt let ekstraherbart organisk materiale i jordfasen. Der fandtes ingen korrelation mellem indholdet af det totale organisk materiale og variationen i nitrat-reduktionsraten.

- Transporten og reduktionen af nitrat under varierende strømningshastigheder kunne med god tilnærmelse beskrives med sprækkemodellerne FRACTRAN eller FRAC3Dvs.

Peter Jørgensen er ansat som udviklingsleder i Hedeselskabet og lektor på Institut for Miljø og Resourcer (Danmarks Tekniske Universitet). Arbejdet som blev præsenteret på mødet er udført i samarbejde med Johanne Urup og Tina Helstrup, Geologisk Insitut, Københavns Universtitet, Marina B. Jensen, Forskningscenter for Skov og Landskab samt Finn Vinther og Finn Eiland fra Forskningscenter Foulum, Danmarks Jordbrugsforskning. Forsøgene blev udført hos firmaet GEO, Lyngby, under det strategiske miljø-forskningsprogram (SMP).