

Arsen i grundvand

- et eksempel fra Vietnam

I et dansk forskningsprojekt i Vietnam forsøger forskerne at afsløre detaljerne i de processer, der frigiver det giftige stof arsen til grundvandet. For meget arsen i grundvandet kan gøre vandet ubrugeligt som drikkevand.

Af Dieke Postma og Flemming Larsen

■ Undersøgelser gennemført de sidste 10-20 år har vist, at der i en række lande forekommer grundvand med et geologisk betinget højt indhold af grundstoffet arsen. Dette gælder eksempelvis i Argentina, Bangladesh, Cambodja, Indien, Kina, Taiwan, Ungarn, USA og Vietnam. Men også i Danmark indeholder grundvandet visse steder for meget arsen. Arsen er meget giftigt og et forhøjet indtag over længere tid kan føre til hudsygdomme, med hærkning og opsprækning af især fødder og håndflader (såkaldt "black-foot disease") samt kræft i hud, blære og nyrer. Verdenssundhedsorganisationen (WHO) har derfor anbefalet, at grænseværdien for arsen i drikkevand sættes så lavt som 10 mikrogram per liter, en anbefaling der er fulgt af EU og de fleste lande i den vestlige verden.

Ved brug af den rette vandbehandlingsteknologi kan arsen i grundvand relativt nemt reduceres til koncentrationer under WHO's anbefalede koncentration i drikkevand. Men i mange udviklingslande kan det på grund af fattigdom og manglende tek-



Undersøgelingslokaliteten for arsen i grundvand ved den Røde Flod, 30 km nordvest for Hanoi. Jerrnrørene angiver placeringen af linjen af undersøgelsesboringer. Disse er placeret ved en sidegren til den Røde Flod.

nologi være vanskeligt at gennemføre en sådan vandbehandling. Det skønnes, at der i disse år er omkring 100 millioner mennesker, der drikker vand med indhold af arsen, der er forhøjet i forhold til WHO's anbefalinger.

Vandforsyning med sideeffekter

I lande som Bangladesh og Vietnam er arsenproblemet først opstået efter omlægning af vandforsyninger fra overfladevand til anvendelse af grund-

vand. Tidligere medførte brug af vand fra floder sygdomme som dysenteri og kolera, og for at afhjælpe dette blev der bl.a. i Bangladesh fra begyndelsen af 1970'erne etableret flere hundredtusinde grundvandsbo-

ringer i landdistrikter. I forbindelse med etablering af boringerne blev grundvandet analyseret for en række kemiske stoffer, men desværre ikke for arsen. I begyndelsen af 1990'erne blev der i Bangladesh for første gang rapporteret om symptomer på arsenforgiftninger hos mennesker, og det blev erkendt, at der var en risiko for, at man kunne stå over for et større problem med arsenforgiftning fra drikkevandet. Den sene påvisning af arsenproblemet efter etableringen af boringerne skyldes det forhold, at det typisk tager 10-15 år at udvikle en arsenforgiftning hos mennesker.

Da man blev opmærksom på problemet, blev der igangsat kampanjer med indsamling og analyse af grundvand, og dette arbejde påviste en massiv forurening af drikkevandet med høje koncentrationer af arsen. Mange steder var der fra 10 til 100 gange højere indhold end WHO's anbefalede grænseværdi i drikkevandet.

I Vietnam påbegyndte man først i 1990'erne etableringen af grundvandsboringer til drikkevandsforsyning, og bl.a. omkring Hanoi er der, som i Bangladesh, konstateret høje indhold af arsen i vandet. Det skønnes, at omkring 11 millioner mennesker omkring den Røde Flod indtager drikkevand med et arsenindhold, der overskrider en koncentration på 10 mikrogram per liter. I Vietnam er der de seneste år også rapporteret om symptomer på arsenforgiftninger.

Den mulige kilde til arsen

I det sydøstlige Asien er forhøjede koncentrationer af arsen i grundvand især gjort i de store, tætbefolkede flodsletter omkring Ganges, Brahmaputra, Mekong og den Røde Flod, der alle har deres udspring i Himalaya. Disse floder medfører sediment, der, efter at det er aflejret på flodsletterne, tilsyneladende frigiver arsen til gennemstrømmende grundvand. Hvordan denne frigivelsesproces præcist foregår, diskuteres stadig flittigt i den videnskabelige litteratur. Det diskuteres også, hvorfor

koncentrationen af arsen varierer meget i grundvandsmagasinerne. Boringer med få hundrede meters afstand kan således have meget forskellige koncentrationer af arsen. Kendskab til og forståelse af den rumlige fordeling af arsen i grundvandsmagasinerne, vil gøre det muligt at udarbejde strategier for en optimal placering af nye boringer, der giver vand med de lavest mulige koncentrationer af arsen.

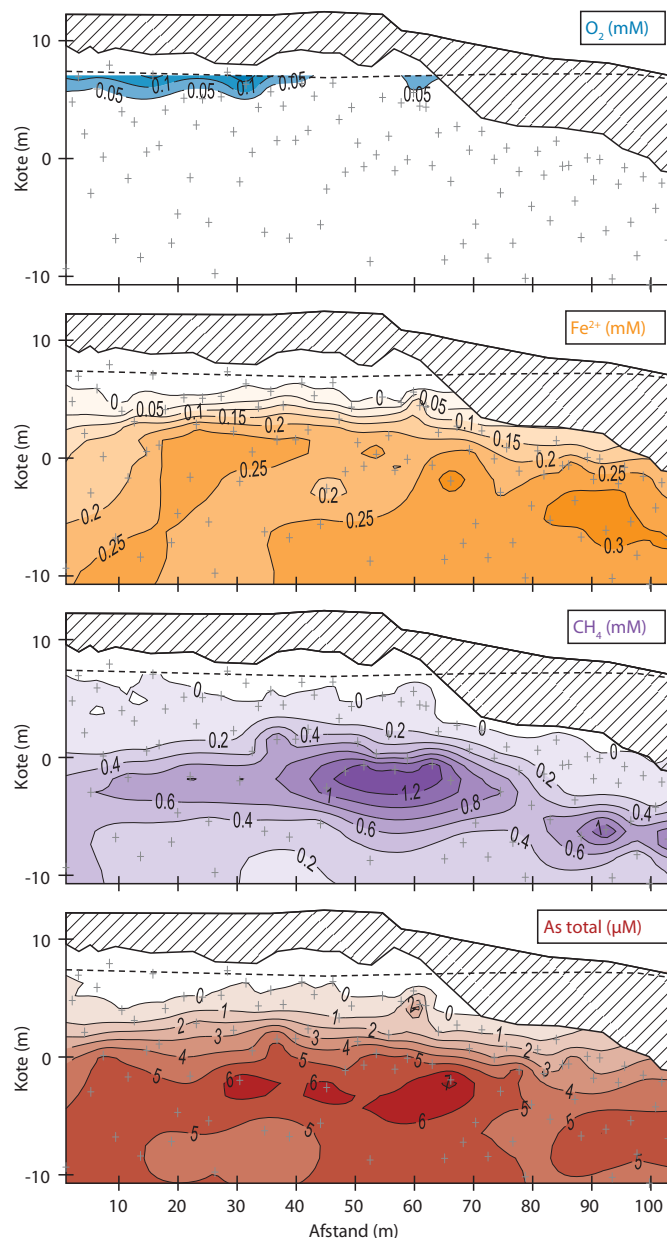
Frigivelse af arsen

I et forskningsprojekt har vi undersøgt, hvordan arsen frigives til grundvandet i området omkring den Røde Flod i Vietnam. Her findes et grundvandsmagasin i sandede flodaflejringer, der er overlejret af et lerlag. Sandet aflejres, når flodens kanaler flytter sig, mens leret er aflejret i perioder med en høj vandstand, når floden oversvømmer sine bredder. Sedimentet langs med floden er meget ungt, og dateringer har givet aldre omkring 400 år. Vi har etableret en undersøgelseslokalitet tæt på floden, cirka 30 km nordvest for Hanoi. Idéen var at undersøge frigivelsen af arsen fra et ungt sediment under naturlige forhold uden påvirkning af strømningforholdene i grundvandsmagasinet som følge af pumpninger, markvanding, nedsivning af spildevand etc.

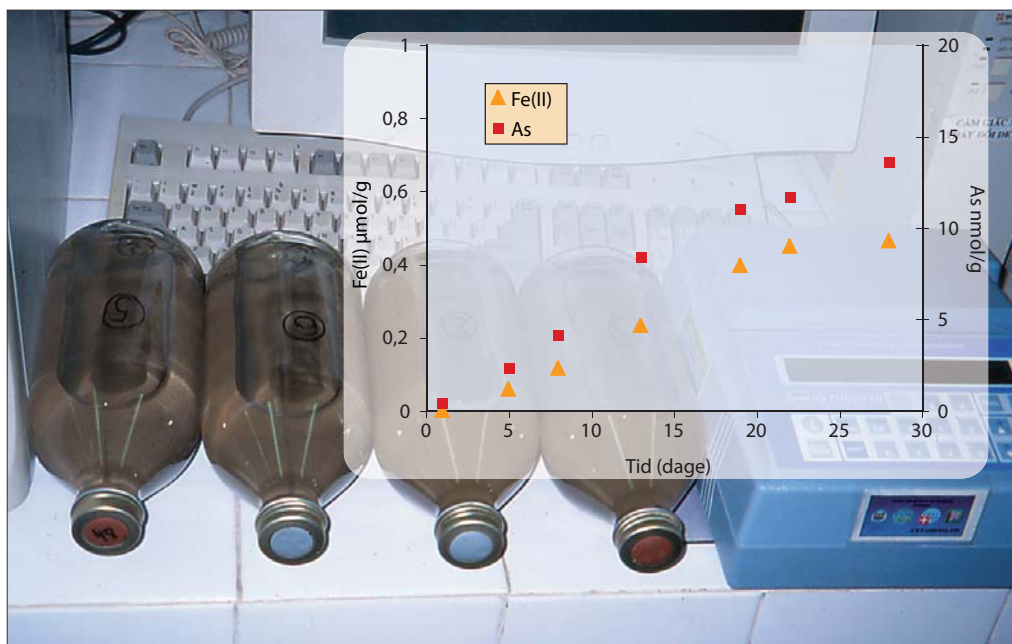
Med lokal boreteknologi blev der etableret 100 boringer langs grundvandets strømningsretning, og boringerne blev udstyret med korte filtre i forskellige dybder under terræn. Ved at benytte denne metodik har det været muligt at etablere et todimensionelt billede af grundvandets geokemiske sammensætning. Datering af grundvandet har påvist, at vandet bevæger sig nedad med en hastighed på 0,5 m/år. Analyser af grundvandets kemiske sammensætning har derudover vist, at der kun forekommer opløst ilt i vandet få meter under grundvandspejlet. Dybere, hvor grundvandet er ældre, optræder der både opløst, reduceret jern (Fe^{2+}) og metan (CH_4) i vandet. Tilstedeværelse af især metan er et tydeligt

Arsen (As)

Arsen er et naturligt grundstof, der findes i små koncentrationer i de fleste miljøer. I sedimenter og faste bjergarter forekommer arsen typisk i koncentrationer omkring 1-4 mg/kg. Arsen er det 52. mest almindelige grundstof på jordoverfladen. I vandige miljøer forekommer arsen i koncentrationer fra få $\mu\text{g/l}$ til 3.000 $\mu\text{g/l}$. Arsen i høje koncentrationer har såvel akut som kronisk gifteeffekt for de fleste biologiske organismer, og det har blandt andet været brugt som et pesticid til skadedyrsbekæmpelse i kartoffelmarker, hvilket dog ikke længere er tilladt.



Grundvandssammensætning i undersøgelsesområdet langs den Røde Flod. Et lerlag (skravleret) overlejrer et sandet grundvandsmagasin. Krydsene angiver positionen af små, 30 cm lange filtre, hvorfra der er udtaget grundvandsprøver. Vist er fordelingen af ilt (O_2), reduceret jern (Fe^{2+}), metan (CH_4) samt arsen (As-total). 1 $\mu\text{mol/L}$ svarer til 75 mikrogram per liter arsen. WHO anbefalede grænseværdi for drikkevand er maksimalt 10 mikrogram arsen per liter.

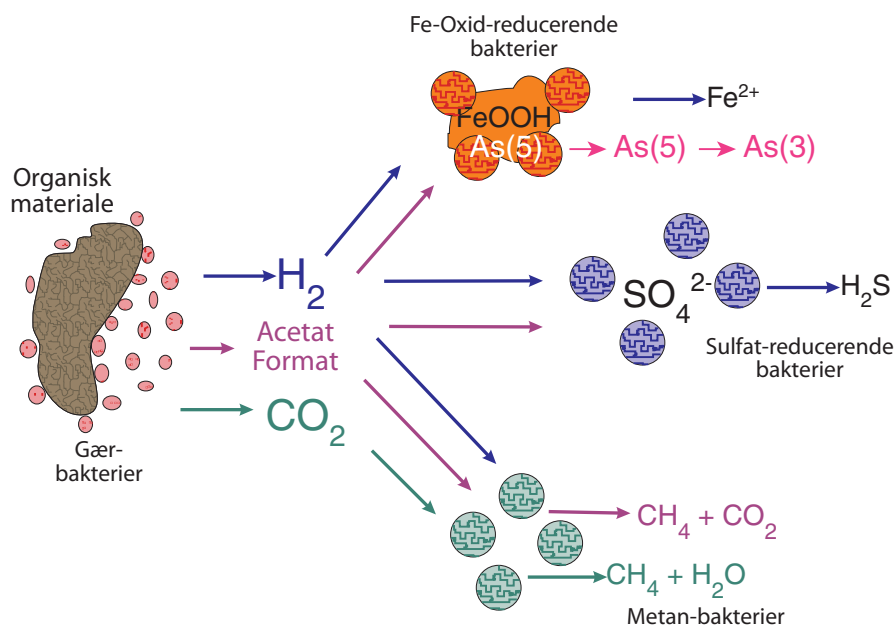


Målinger fra forseglede flasker med mudder og vand fra den Røde Flod. Efter få dage bliver systemet iltfrit og arsen (As) og reduceret jern (Fe(II)) frigives fra muddret.

tegn på nedbrydning af organisk materiale i sedimenterne. I dette tilfælde består det organiske materiale hovedsageligt af torverester.

Processerne ved nedbrydning af organisk materiale kan opsummeres i to trin. Først nedbrydes det organiske materiale til fedtsyrer og brint, og efterfølgende konkurrerer flere processer om disse reaktionsprodukter. De vigtigste følgeprocesser er reduktion af jernoxider (FeOOH) og dannelse af methan, mens sulfatreduktion er uden betydning, idet flod- og regnvand stort set ikke indeholder sulfat. Resultaterne fra feltundersøgelsen viser, at når grundvandet bliver iltfrit, begynder en massiv frigivelse af arsen, og dybere under grundvandspejlet opnås koncentrationer af arsen på helt op til 550 mikrogram per liter.

Fordelingen af jern i grundvandet svarer til arsen, hvilket antyder, at arsen findes indbygget i jernoxider, der sidder bundet på overfladerne af sand- og mudderpartikler. Når miljøet bliver iltfrit reduceres disse jernoxider, og arsen frigives til grundvandet.



Organisk stofnedbrydning og arsenfrigivelse. Først dannes fedtsyrer, acetat og format, og brint, som konsumeres af konkurrerende jernreducerende og methandannende bakterier. Arsen er bygget ind i jernoxiderne i oxidationstrin plus fem. Det frigives, når jernoxiden reduceres, hvorefter arsen reduceres til oxidationstrin plus tre.

Laboratorieforsøg bekræfter hypotesen

Nogle simple laboratorieforsøg har bekræftet hypotesen om frigivelse af arsen fra jernoxiderne i sedimenterne. I disse forsøg blev sand og mudder indsamlet fra den Røde Flods bund anbragt i flasker sammen med prøver af det oxiderede flodvand. Flaskerne blev forsynet med tætte låg, så yderligere ilttilførsel blev forhindret. Ved jævnligt at udtage vandprøver fra forsøgene, kunne den kemiske udvikling, herunder frigivelse af arsen, følges. Allerede efter et par dage blev flaskernes indhold af flod-

Forskningsprojektet

Forskningsprojektet om arsen i Vietnam udføres i et samarbejde mellem forskere ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Danmarks Tekniske Universitet samt tre vietnamesiske institutioner. Projektet er støttet af DANIDA's forskningsråd, og er et såkaldt ENRECA projekt (Enhanced REsearch CApacity building), hvor der etableres samarbejder mellem forskningsinstitutioner i Danmark og modtagerlandene af bistand med det formål at uddanne og træne studenter og forskningsmedarbejdere.

Projektets overordnede mål er at tilvejebringe en viden om arsens naturlige geokemiske processer i grundvandssystemerne i deltaområder i Sydøstasien. En viden der vil forbedre muligheder for at tilrettelægge oppumpning af grundvand, så vandets naturlige indhold af arsen er så lavt som muligt.

vand iltfrit, og efter kort tid blev der fra sedimentet frigivet både arsen og jern til vandet. Frigivelsen af jern skyldes reduktion af jernoxider som følge af oxidation af organisk materiale i sedimenterne. I redox-processen reduceres jern og kulstof oxideres. Betingelserne i forsøgene svarer til situationen, hvor flodens sediment er først aflejret, og efterfølgende bliver en del af et grundvandsmagasin.

Resultater viser, at der foregår en kraftig frigivelse af arsen fra de unge flodsedimenter til grundvandet, og det er derfor ikke underligt, at der opbygges høje koncentrationer af arsen i grundvandet omkring den Røde Flod. Et åbent spørgsmål er stadig årsagen til den store rumlige variation i grundvandets indhold af arsen. Det kan måske forklares med placeringerne af boringernes filtre i sedimenten med forskellige indhold af organisk materiale, eller med forskellige tider for udvaskning af arsen fra sedimenterne. Disse



Foto: Flemming Larsen

Undersøgelokaliteten for arsen i grundvand set fra en anden vinkel.

stadigt ubesvarede spørgsmål vil der blive arbejdet videre med i det dansk-vietnamesiske projekt. Derudover vil der blive forsøgt

opstillet en model for fordelingen af arsen i sedimenterne i hele deltasystemet omkring den Røde Flod. ■

Videre læsning:

<http://vietas.env.dtu.dk>
www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/index.html

*Postma, D. et al.: "Arsenic in groundwater of the Red River floodplain, Vietnam: controlling geochemical processes and reactive transport modeling." *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 5054-5071 (2007)*

*Kristiansen, S.M., Nørnberg, P. & Ramsay, L. Arsen i dansk drikkevand. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2004.*

*Larsen, C.L. & Larsen, F. Arsen i danske sediment og grundvand. *Vand & Jord* nr. 10. december 2003.*

Om forfatterne



*Dieke Postma er konsulent ved GEUS
Tlf.: 38142907
E-mail: dip@geus.dk*



*Flemming Larsen er seniorforsker ved GEUS
Tlf.: 3814 2777
E-mail: flar@geus.dk*