

TEMANUMMER FERSKVAND Samfundets vigtigste ressource

Geologi og Grundvandsmodeller

Ferskvand, samfundets vigtigste ressource



Klaus Hinsby

Vand er den vigtigste ressource for et hvert samfund. Det bruges ikke bare til at drikke og det daglige bad, men store mængder anvendes for eksempel også i fødevarerproduktionen.

Vandet indgår i et evigt kredsløb, der sikrer gode livsbetingelser på jorden. Under solens varme sker der fordamning fra havet, vanddampen fortættes og falder som nedbør på land; vandet søger atter mod havet gennem floder, grundvand og gletsjere.

Påvirkninger et sted i kredsløbet får ofte konsekvenser andre steder. Forurener vi for eksempel grundvandet med for meget nitrat kan iltsvindet i kystnære farvande stige og dermed øge risikoen for fiskedød. For at forvalte ferskvandsressourcen bedst muligt opstilles geologiske modeller. De geologiske modeller udgør grundlaget for opstilling af grundvandsmodeller, der fx beregner grundvandets strømningshastighed. Dette nummer beskriver teknikker til opstilling af geologi og grundvandsmodeller. modellerne er et vigtigt redskab ved udpegningen af beskyttelseszoner for grundvandet.

I Danmark har vi forholdsvis meget ferskvand til rådighed i underjordiske grundvandsmagasiner, og vi har gennem flere generationer opfattet rent ferskvand i rigelige mængder som et selvfølgeligt gode, men udbredt forurening har på det seneste øget bevidstheden om vandressourcens sårbarhed. Den nationale grundvandsovervågning fastslår i den sidst udkomne årsrapport, at halvdelen af det danske grundvand ned til 40 meters dybde i dag er forurenede med enten nitrat eller pesticider. Globalt set er problemerne ofte langt større. Vandressourcens kvalitet og mængde anses af en række internationale organisationer for at være klodens største problem i det 21. Århundrede. I international sammenhæng er den øgede fokus på verdens vandproblemer senest illustreret i forbindelse med "Second World Water Forum and Ministerial Conference", som blev afholdt i Haag i marts 2000. Indenfor EU får miljøaspekter i forbindelse med vand-



Grundvandsudstrømning til flod fra lava (Hraunfoss på Island).

Foto: Klaus Hinsby.

ressourceforvaltning en stadig højere prioritet, som eksemplificeret ved det kommende "Vandrammedirektiv", der sigter mod at beskytte kvaliteten af de europæiske vandressourcer. I det danske bistandsarbejde (Danida, Danced, Dancee) har vandområdet ligeledes en meget høj prioritet. Eksempler på den stigende betydning som vandområdet tillægges herhjemme er fx vandmiljøplanerne og arbejdet med grundvandszoner.

Geologiske modeller og grundvandsmodeller

Der er derfor et stærkt stigende behov for viden, der kan skabe et solidt grundlag for forvaltning af vandressourcen. Et nødvendigt grundlag er gode grundvandsmodeller, der er baseret på resultaterne af en alsidig geologisk, geokemisk og geofysisk kortlægning af undergrunden. Grundvandsmagasinerne rummer jordens største ferskvandsressource, når man ser bort fra iskapperne på Grønland og Antarktis, og et godt og detaljeret kendskab til magasinernes opbygning er nødvendig for at kunne beskytte og udnytte grundvandet hensigtsmæssigt.

Geologi, grundvand og vandkvalitet

Geologi og klima er de to hovedfaktorer, der kontrollerer tilstedeværelse og tilgængelighed af vand både på og under jord-

overfladen. Samspillet mellem bjergarternes og nedbørens kemi styrer grundvandets naturlige sammensætning, og er af afgørende betydning for udviklingen af grundvandets kvalitet. Blandt andet derfor er gode geologiske modeller, i lille såvel som stor skala, af større og større betydning for det moderne samfunds forvaltning af grundvandsressourcerne.

Grundvandets kemiske sammensætning er direkte afhængig af de jord- og bjergarter, som vandet strømmer i. Høje indhold af sundhedsskadelige stoffer, som f.eks. arsen eller nikkel, kan skyldes naturlige processer og hidrøre fra bjergarterne i grundvandsmagasinerne, og behøver ikke at være tegn på forurening fra jordoverfladen. Pludselige ændringer i grundvandets kvalitet i en boring viser at systemet påvirkes; fx at en forurening er undervejs eller at øget indvinding fremprovokerer naturlige geokemiske processer i jorden, der forringer vandkvaliteten.

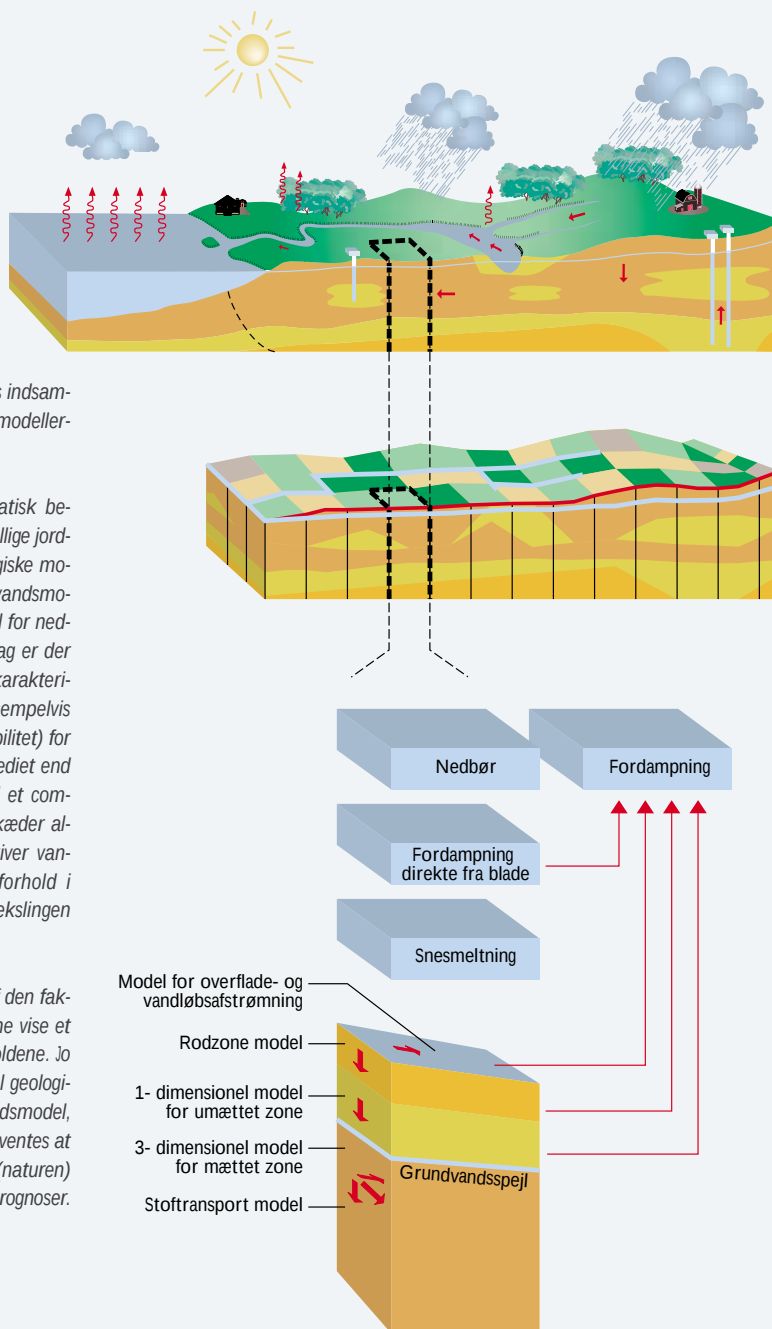
Grundvand kan altså blive uegnet til drikkevand både af naturlige og menneskeskabte årsager. Det er nødvendigt at forstå, hvordan de forhøjede indhold af forurenende stoffer er opstået for at kunne gennemføre hensigtsmæssige afværgeforanstaltninger. Et grundigt kendskab til den lokale geologi og gode geologiske modeller er et nødvendigt fundament.

Hvad er en geologisk model og hvad er en grundvandsmodel?

En geologisk model viser den rumlige fordeling af bjergarter og jordlag, der findes i undergrunden i et område. Før i tiden blev geologiske modeller konstrueret og tegnet i hånden, men i dag foregår det meste af arbejdet på computere, medens indsamlingen af data til brug for opstillingen af modellerne stadig i høj grad foregår i felten.

En grundvandsmodel er en matematisk beskrivelse af vandets strømning i de forskellige jordlag (se figur) der er opstillet i den geologiske model. Det vigtigste grundlag for en grundvandsmodel er derfor den geologiske model og tal for nedbør og fordampning. Til hvert geologisk lag er der i grundvandsmodellen parametre, der karakteriserer lagets strømningsegenskaber. Eksempelvis gives sandlag højere talværdier (permeabilitet) for vandets evne til at strømme igennem mediet end lerlag. I praksis er en grundvandsmodel et computerprogram, som udfører og sammenkæder alle de beregninger, der tilsammen beskriver vandets strømnings- og opmagasineringsforhold i grundvandssystemerne, såvel som udvekslingen mellem grundvand, vandløb og søer.

En model er en forenklet beskrivelse af den faktiske virkelighed, og vil derfor aldrig kunne vise et fuldt korrekt billede af grundvandsforholdene. Jo flere informationer og data, for eksempel geologiske data, man putter ind i en grundvandsmodel, desto bedre og mere nøjagtig kan det forventes at modellens efterligning af virkeligheden (naturen) bliver, i lighed med meteorologernes vejprognoser.



Kilde: Århus Amtskommune.



Atomprøvesprængninger i atmosfæren i 50'erne og 60'erne medførte en stigning i bl.a. isotoperne ^3H , ^{36}Cl og ^{14}C i atmosfære og nedbør. Disse isotoper anvendes idag i stor udstrækning som sporstoffer i grundvandet (fx til aldersdatering).

Foto: POLFOTO. (Mururoa, Frankrig 1971).

Geologiske modeller tilpasset hydrogeologien

Geologiske modeller har ikke haft samme vægt i hydrogeologien som i oliegeologien, blandt andet fordi hydrogeologien ikke har haft samme økonomiske betydning. Derfor er mange af de moderne geologiske kortlægningsmetoder udviklet i oliegeologien. "Oliemetoderne" bliver dog mere og mere anvendt i hydrogeologien. GEUS har mange års erfaring i opstilling af geologiske modeller både indenfor olie- og hydrogeologi, samt en række avancerede tolkningsværktøjer, der gør det muligt at samarbejde alle tilgængelige datatyper i computerprogrammer.

I det følgende fortælles om nogle geologiske kortlægnings- og modelteknikker specielt med fokus på grundvandsmodeller og vandstrømning samt om systemer, der både indeholder vand og olie.

Der er eksempler på kortlægning af sandmagasiner og sprækkede kalkmagasiner, og hvordan de geologiske modeller anvendes i strømningsmodeller for grundvandet.

Inden da beskrives dog kort nogle metoder til bestemmelse af grundvandsalder, der fx kan anvendes til at justere de opstillede strømningsmodeller, og gøre det muligt at forstå og beskrive udviklingen i grundvandskvalitet. Figurer og resultater er hentet fra aktuelle nationale og internationale forsknings- og demonstrationsprojekter finansieret og udført af

GEUS i samarbejde med bl.a. EU, British Geological Survey (BGS), Enterprise Oil (UK), Instituto Geológico e Mineiro (Portugal), International Atomic Energy Agency (IAEA, FN – Wien), Carlsbergfondet og Vejle Amt.

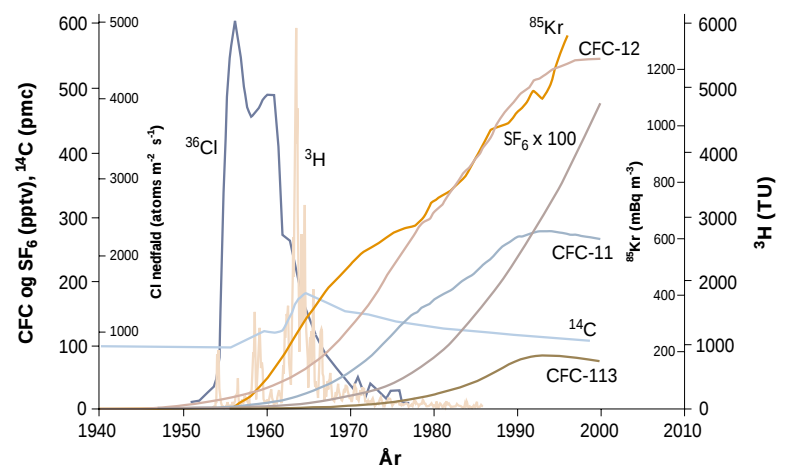
Grundvandsalder

Grundvandet strømmer der, hvor der er mindst modstand. Det betyder at vandet først og fremmest vil strømme gennem sprækker eller store porerum i jord- og bjergarterne. Grundvandet kan opnå gan-

ske betydelige strømningshastigheder i groft sand eller sprækker i ler- og kalklag og forurening kan derfor hurtigt nå til forholdsvis store dybder under uheldige omstændigheder.

En god måde at undersøge grundvandsstrømningshastighed på er ved hjælp af aldersbestemmelse. Alderen af grundvand er groft sagt det tidsrum (antal år) grundvandet har opholdt sig i grundvandsmagasinet siden det faldt som nedbør på jordoverfladen.

Der findes en lang række forskellige meto-



Figur 1. Koncentrationsudvikling af sporstoffer i atmosfæren. De viste stoffer kan anvendes til datering af ung grundvand. Isotoperne ^{36}Cl , ^3H og ^{14}C stammer fra atomprøvesprængninger, ^{85}Kr fra atomkraftværker mens CFC-gasserne og SF_6 anvendes i industrien (Hinsby et al. 2001).

der til at aldersbestemme grundvand. Hver af disse dækker forskellige tidsperioder eller grundvandsaldre og hver har deres styrker og svagheder i forskellige typer af grundvandsmagasiner. Boksen til højre viser et udvalg af de mest almindelige teknikker til aldersbestemmelse af grundvand.

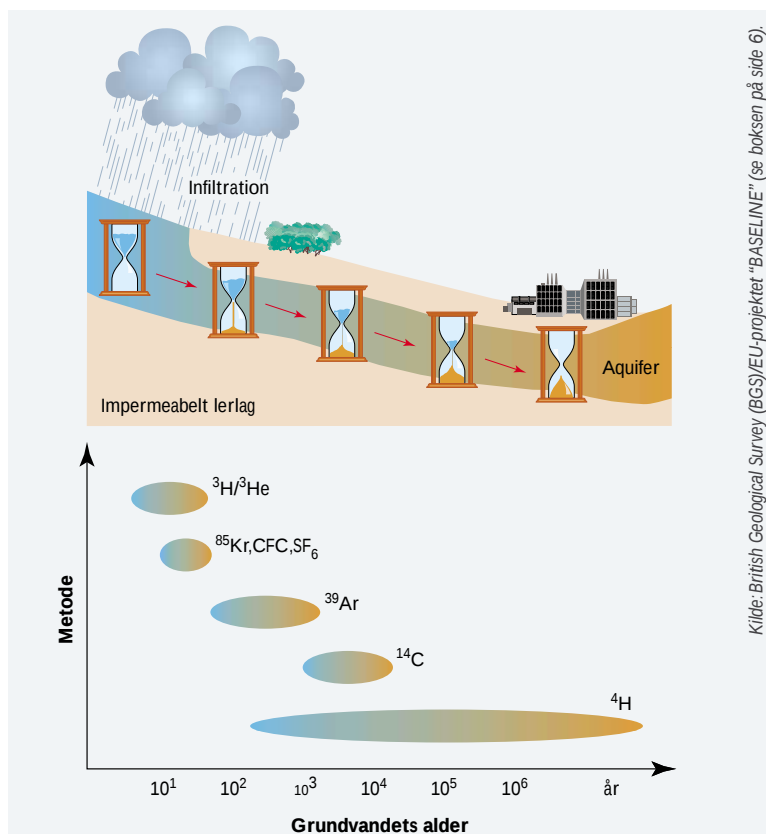
Grundvandets kvalitet

Som tommelfingerregel er vand, der er sivet ned til grundvandsmagasinerne gennem de sidste ca. halvtreds år forurenet i større eller mindre grad som følge af menneskets aktiviteter. Grundvand, der er ældre indeholder ikke forurening, med mindre det er blevet opblandet med yngre grundvand. Omvendt, er der ofte større risiko for at grundvandet naturligt har opløst uønskede sporelementer fra jord- og bjergarter desto ældre grundvandet er. Grundvandets alder kan derfor umiddelbart give en idé om grundvandets kvalitet, samt om prøvetagningsstedets sårbarhed overfor forurening fra jordoverfladen. Grundvandets kemiske sammensætning kan dog variere meget afhængig af de bjergarter vandet har kontakt med; derfor er detaljeret kortlægning af både grundvandets og bjergarternes kemi vigtig for forståelsen af de geokemiske processer og for udviklingen af vandkvaliteten i grundvandsmagasinerne.

Figur 1. viser atmosfærens indhold af de sporstoffer, der i øjeblikket anvendes til aldersbestemmelse af ungt grundvand. Ungt og gammelt grundvand defineres normalt som grundvand, der er henholdsvis yngre eller ældre end 50 år. I nogle situationer, især på store kontinenter, hvor grundvandet kan strømme langt og dybt, er det hensigtsmæssigt med endnu en inddeling af grundvandets alder. Meget gammelt grundvand anvendes ofte her om grundvand, hvori der ikke kan måles ^{14}C (kulstof-14). Dette grundvand vil normalt være ældre end 35-50.000 år (se boksen). Det grundvand som indvindes og udnyttes globalt kan være alt fra mindre end et år til millioner af år gammelt. Grundvandet, der indvindes til drikkevand i Danmark, er normalt ungt grundvand, men i nogle tilfælde bruges også gammelt grundvand, der er flere tusinde år gammelt. Eksempelvis inde-

holder Ribe Formationen grundvand af fremragende kvalitet, der er mere end 1000 år gammelt. Enkelte steder er vandet endda så gammelt, at det er infiltreret under sidste istid, det vil sige det er sivet ned

til grundvandsmagasinerne for mere end 10.000 år siden. Det gamle grundvand er upåvirket af forurening og bør beskyttes effektivt mod nedsivende forurening.



Kilde: British Geological Survey (BGS)/EU-projektet "BASELINE" (se boksen på side 6).

Figuren ovenfor viser sporstoffer der kan anvendes til at aldersbestemme grundvand med aldre fra mindre end 10 til mere end en million år.

GEUS har gennem en årrække haft forskningsaftaler med det Internationale Atom Energi Agentur (IAEA—www.iaea.org), der har hovedsæde i Wien. IAEA har gennem de sidste 3-4 årtier haft markant indflydelse på udviklingen af forskning vedrørende anvendelse af isotoper til undersøgelser i det hydrologiske kredsløb. Isotoper er i dag måske det væsentligste redskab til at undersøge processerne i det hydrologiske kredsløb. Isotoperne giver eksempelvis vigtige informationer om klima og nedbør gennem tiderne (fx ved måling på iskerner fra Grønland), strømninger i grundvand, have og søer, og nedbrydningshastigheder af nitrat og pesticider i vandmiljøet. I øjeblikket gennemfører GEUS et forskningsprojekt med titlen ^3H response in groundwater and surface water as illustrated by a 30 year ^3H record". Projektet er en del af IAEA's internationale treårige forskningsprogram "Isotope response to hydrological systems to long term exploitation". Projektet løber i perioden 1999-2002, og har følgende andre deltagerlande: Tyskland, USA, Sydafrika, Malaysia, Jordan, Filipinerne, Tunesien, Schweiz, Tyrkiet, Israel, Indien og Australien. GEUS projektet gennemføres i samarbejde med Odense Vand, der årligt har indsamlet og opmagasineret vandprøver fra nedbør, Odense å og to vandforsyningsboringer siden 1963.

Udover at aldersbestemmelse af grundvand kan vise noget om risikoen for, at grundvandet er forurenet, så er aldersbestemmelser også med til at give et fingerpeg om den tilgængelige mængde. Gammelt grundvand gendannes ofte langsomt. Er grundvandsdannelsen i et område langsom, er det vigtigt at følge og justere effekten af indvindingen, således at man undgår uheldige konsekvenser af overudnyttelse og for kraftige sænkninger af grundvandsspejlet. Computermodeller kan på basis af geologiske modeller som allerede nævnt beregne grundvandets strømning i grundvandsmagasinet, og vurdere konsekvenserne af størrelsen af indvindingen. Aldersbestemmelser er vigtige data, der er med til at forbedre og justere computermodellerne.

Vigtige typer grundvandsmagasiner i Danmark

Sand og opsprækket kalk er de vigtigste grundvandsmagasiner i Danmark. Sandmagasiner med både ungt og gammelt grundvand er allerede undersøgt i flere forskningsprojekter i Jylland (f.eks. Ribe Formationen) men vi har i øjeblikket kun spredte oplysninger om grundvandets aldersfordeling i de meget vigtige kalkmaga-

siner omkring København. Et nyt EU forskningsprojekt "BASELINE" (se boks nedenfor) ledet af British Geological Survey (BGS), med deltagelse af GEUS og Danmarks Tekniske Universitet (DTU), samt institutter fra 7 andre Europæiske lande udfører i øjeblikket undersøgelser af grundvandets alder og indhold af naturlige stoffer i stor detalje i de deltagende lande. I Danmark koncentrerer projektet sig om kalk- og kridtmagasiner på Sjælland, men derudover kortlægges grundvandskvalitetens udvikling og alder i udvalgte dele af sandmagasiner fra miocæntiden i Jylland og sandmagasiner fra kvartærtiden ved Odense.

Sprækkede bjergarter komplicerer strømningsforholdene og transporten af opløste stoffer i grundvandet væsentligt, idet stofferne vandrer frem og tilbage mellem sprækkerne og porerne i bjergarten. Forurening kan derved "gemme" sig i bjergartens porer, og efterfølgende forurene rent grundvand, der strømmer forbi i sprækker i meget lang tid, efter at selve forureningen er ophørt. Samtidig er det meget vanskeligt at forudsige sprækkernes retning, permeabilitet og størrelse; komplicerede og uventede strømningsmønstre opstår derfor ofte i sprækkede grund-

vandsmagasiner. Kortlægning af enkelte sprækker og sprækkazoner både lokalt og regionalt, er derfor væsentligt i sådanne bjergarter for at kunne beskrive og forudsige grundvandets strømning og stoftransport.

I det følgende afsnit beskrives resultater fra et projekt, der kortlægger udbredelsen af vigtige sandmagasiner fra tertiærtiden (inkl. Ribe Formationen) i store dele af Midt- og Sønderjylland. Projektet gennemføres blandt andet for bedre at kunne bedømme vandmængden og hvordan vandet bedst kan beskyttes.

Efter afsnittet om tertiære grundvandsmagasiner beskrives og demonstreres nye vigtige instrumenter og teknikker til kortlægning af sprækker i fx kalkbjergarter.



EU-projektet - "BASELINE" – ("Naturlig grundvandskvalitet i Europæiske grundvandsmagasiner: Et grundlag for forvaltning af grundvandsmagasiner") er et tre-årigt forskningsprojekt under det 5. rammeprogram, der løber fra 2000-2003. Projektet skal primært undersøge den grundlæggende uforurenede grundvandskvalitet, men også ungt forurenet vand i ca. 20 vigtige Europæiske grundvandsmagasiner. Projektet koordineres af British Geological Survey (BGS) og involverer udover GEUS og DTU følgende partnere: Instituto Tecnológico GeoMinero de España (Madrid, Spanien); Universidade de Aveiro (Aveiro, Portugal); Universiteit Gent (Gent, Belgien); Université d'Avignon (Avignon, Frankrig); Université Paris-Sud (Paris, Frankrig); Tallinn Technical University (Tallinn, Estland); University of Mining and Metallurgy (Krakow, Polen); Universität Bern (Bern, Schweiz); Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona, Spanien).

De danske undersøgelser foregår på Sjælland (kalk- og kridtmagasiner), Fyn (kvartært sand), og Jylland (tertiært sand). Miljøstyrelsen, Københavns Vand og Københavns Amt indgår i en Europæisk følgegruppe, der skal give input til undersøgelserne.

For yderligere information se internetsiden: www.bgs.ac.uk/hydrogeology/baseline.

Tertiære grundvandsmagasiner i Jylland

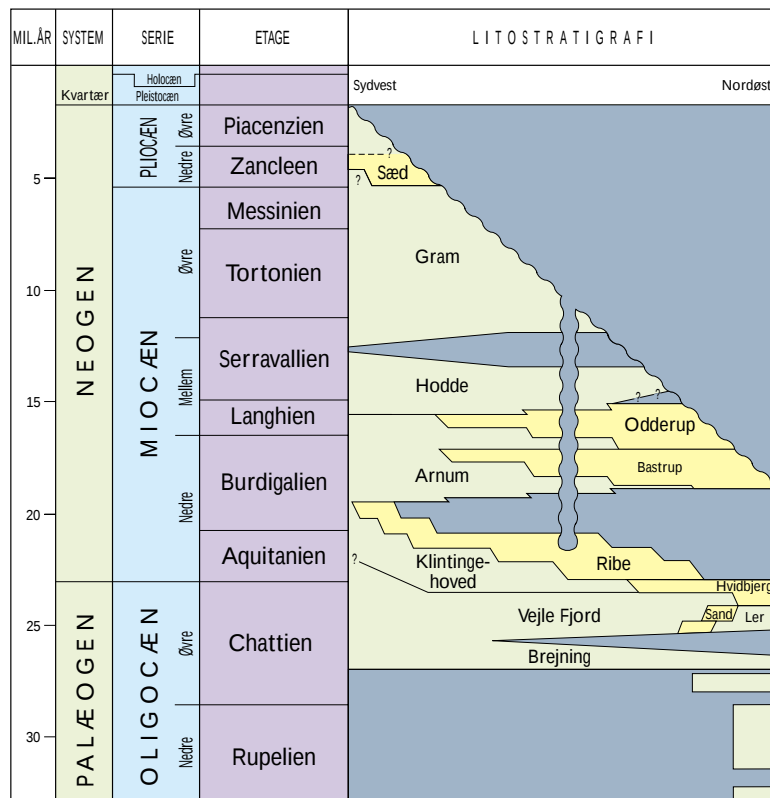
Erik Skovbjerg Rasmussen

Sandlag i den øvre oligocæne – miocæne lagpakke udgør nogle af de vigtigste grundvandsmagasiner i Jylland. For at kunne indvinde grundvandet mest hensigtsmæssigt er det nødvendigt at kende udbredelsen af grundvandsmagasinerne og vide, hvordan de hænger sammen. For at fastlægge og beskrive lagenes sammenhæng studeres de geologiske lag, hvor de kan ses i kystklinter og råstofgrave. Desuden indsamles oplysninger om borer, jordartsbeskrivelser og geofysiske borehulsmålinger (logs) og geofysiske målinger foretaget på overfladen f.eks. seismiske og geoelektriske undersøgelser. Endelig udarbejdes en biostratigrafi (bios = liv) dvs. en inddeling af lagfølgen på grundlag af oplysninger om forsteninger fra udvalgte borer og daglokaliteter.

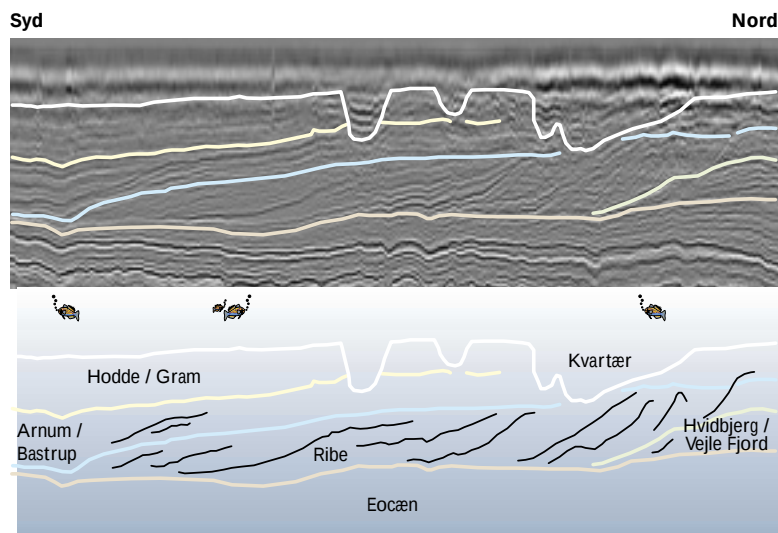
Alle disse data sammenstilles i en sekvensstratigrafisk ramme; derved bliver det muligt, at opdele lagserien i en række lag som tidsmæssigt har omtrent samme alder indenfor hvilke fordelingen af sand og ler kan kortlægges. Det er derefter muligt at lave en rumlig fordeling af de forskellige grundvandsmagasiner; dette har stor betydning, når man skal planlægge den fremtidig struktur af drikkevandsforsyningen både med hensyn til vandmængder og beskyttelse af de vigtigste grundvandsmagasiner.

Ny viden om lagseriens opbygning

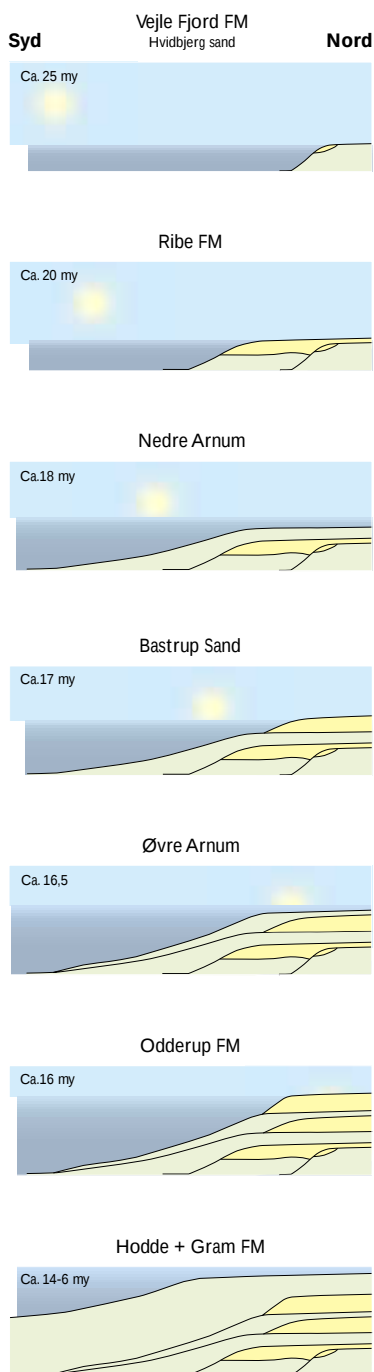
Litostratigrafien (lithos = sten), dvs. lagfølgen bestemt på grundlag af lagenes indhold af fx sten og mineraler (litologiske egenskaber), er baseret på en stor mængde data på land og fra Nordsøen (figur 1). Det drejer sig om seismiske data, oplysninger fra ældre og helt nye borer og om fornyede undersøgelser af daglokaliteter. Det nye ved den litostratigrafi, der vises i figur 1 er, at det nu er muligt at datere sedimenterne, både i blotninger og i borer. Endvidere har udviklingen af nye korrelationsmetoder (sekvensstratigrafi) gjort det muligt at foretage mere præcise og geologisk rigtige korrelationer af lagene. For at dette kan gøres anvendeligt, er det mest



Figur 1. Litostratigrafisk inddeling af den øvre oligocæne – miocæne lagserie i Danmark. Grundvandsmagasinerne er vist med gult.



Figur 2. Seismisk linie, der viser udbygningen af sedimentkiler fra nord mod syd, (liniens placering ses på kortet i figur 4).



Figur 3. Skematisk illustration af, hvordan den øvre oligocæne – miocæne lagserie blev opbygget. Bemærk hvordan variationer i havniveauet har bestemt, hvornår kystlinien rykkede frem, f. eks. ved stabilt eller faldende havniveau, og omvendt rykkede tilbage når havniveauet steg.

hensigtsmæssigt at sætte navne på de forskellige lag. Derved kan de nemmere håndteres i det daglige arbejde blandt fagfolk. Derfor indeholder figur 1 en række nye litologiske enheder, som ikke er formelt opstillet endnu. De er nødvendige for at den rigtige sammenhæng mellem lagene kan ses, og dermed forbedre muligheden for at skelne mellem forskellige grundvandsmagasiner.

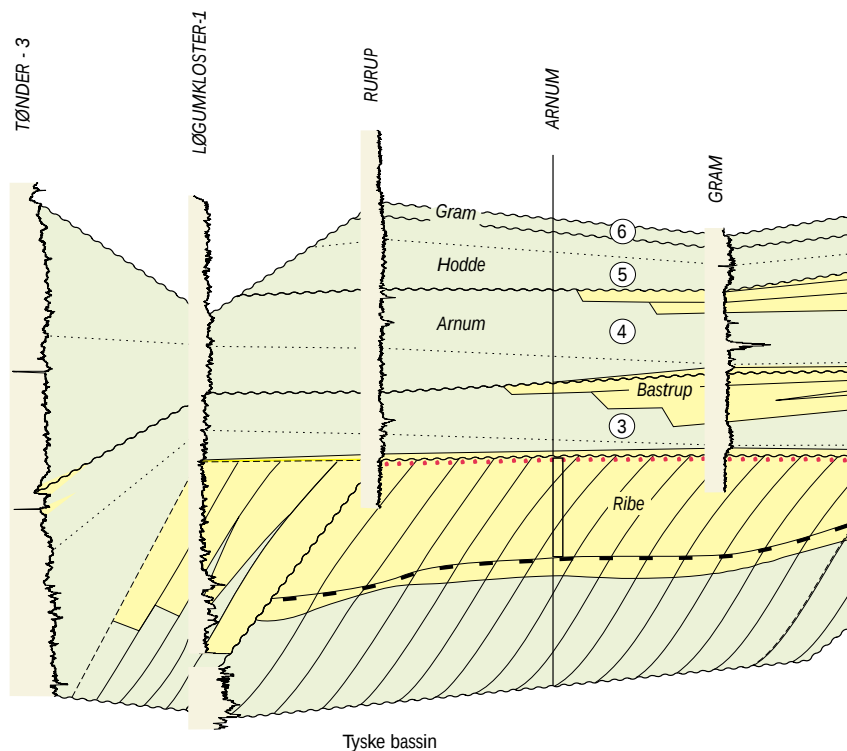
De ældste lag i skemaet er af sen oligocæn alder og tilhører den litostratigrafiske enhed, der hedder Vejle Fjord Formationen. Nederst er Brejning Leret repræsenteret, derover følger Vejle Fjord Ler og Vejle Fjord Sand. Herover er der en uformel enhed, som kaldes Hvidbjerg Sand. Dette sand er sandsynligvis af oligocæn alder, men kan være allerældste miocæn. Hvidbjerg sandet følges af den sandrige Ribe Formationen, der er af tidlig miocæn alder. I de sydlige eg-

ne går Ribe Formationen over i en mere finkornet havaflejring, der hedder Klintinghoved Formationen. Ribe og Klintinghoved formationerne overlejres af Arnum Formationen; denne formation er generelt finkornet, men i Midt- og Sydjylland kiler der sig et sandlag ind i formationen. Dette sandlag bliver her benævnt som "Bastrup sand". Over Arnum Formationen kommer den sandrige Odderup Formation. Herover har vi i Danmark kun finkornede lag, disse er kendt som Hodde og Gram formationerne. Disse 2 formationer tilhører mellem og øvre miocæn.

Udbredelse af grundvandsmagasiner

De sandede sedimenter, der udgør grundvandsmagasinerne i Jylland kommer fra det Skandinaviske grundfjeldsområde hovedsageligt fra det nuværende Norge. Derfor er

Syd



den generelle udvikling af lagserien karakteriseret ved en gradvis udbygning af sedimentkiler fra nord mod syd (figur 2 og 3). De sandlag, som udgør grundvandsmagasinerne findes normalt i toppen af kilerne (figur 3). Derfor er grundvandsmagasinerne ældst mod nord. Der skete dog en ændring i miocæn tid som følger af globale stigninger i havniveauet og bevægelser i jordskorpen, der bevirkede at kilerne rykkede tilbage (mod nord), for derefter at bygge ud igen. Dette fandt sted 2 gange i løbet af miocænen, men sandlag fra den sidste fase blev eroderet bort i løbet af istiderne i kvartærtiden.

Den øvre oligocæne – miocæne lagpakke kan inddeles i 6 sekvenser (figur 4).

Den nederste sekvens ①, der svarer til Brejning Leret, er karakteriseret i det me-

ste af Jylland ved at være meget finkornet med enkelte tynde sandlag. Brejning Leret udgør derfor kun et grundvandsmagasin lokalt i Nordjylland, for eksempel ved Haverslev.

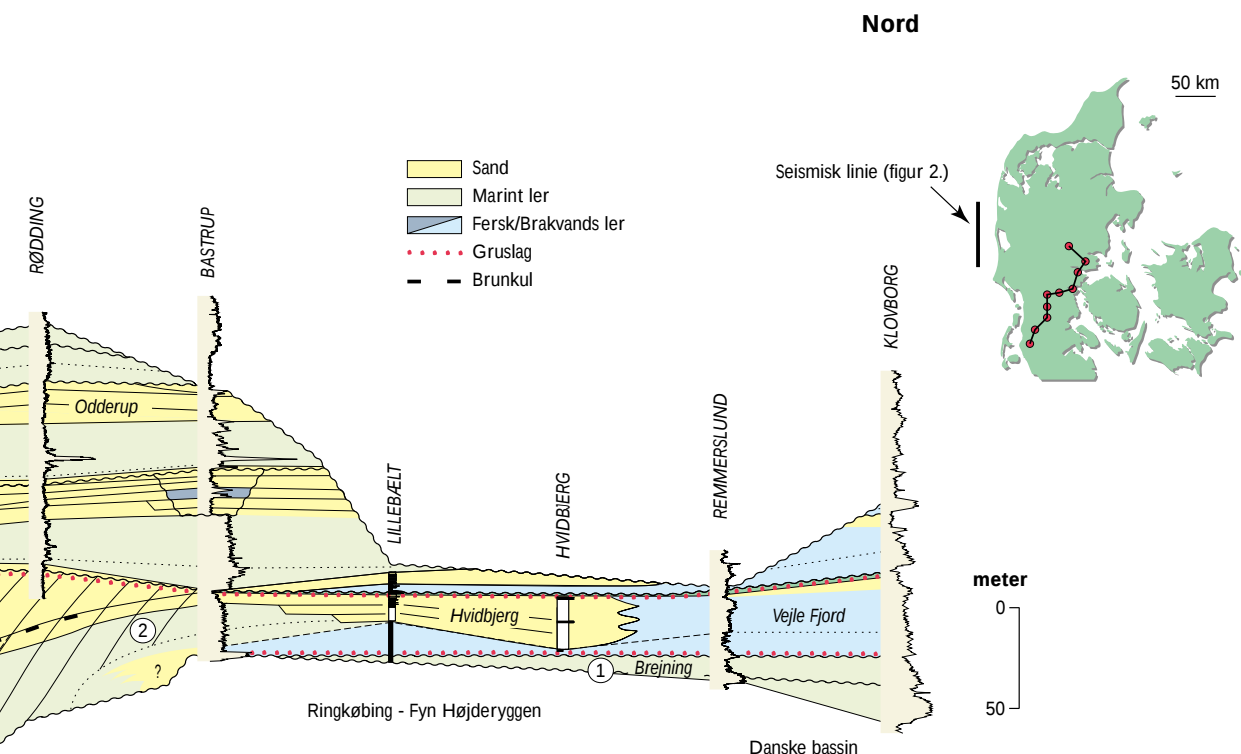
Den overliggende sekvens ②, der består af Vejle Fjord Formationen, Hvidbjerg Sandet og det meste af Ribe formationen, er måske det vigtigste grundvandsmagasin i det vestlige Danmark. Grundvandsmagasiner indenfor denne sekvens er mest udbredt i Vest- og Sønderjylland. Sedimenterne, afsat i sekvensen, blev aflejret i oddekomplekser (Vejle Fjord Formationen og Hvidbjerg Sand) og flodsystemer (Ribe Formationen).

Sekvens ③, der bl.a. består af sandintervallet indenfor Arnum Formationen ("Bastrup sand"), har det bedste potentiale for ind-

vinding af grundvand på strækningen fra sydøst Jylland, op over Midtjylland og ud mod Vestjylland. Sedimenterne her, blev afsat af en fremrykkende kyst og består af strand-sand med overliggende flodaflejringer, stedvist med brunkulslag.

Sekvens ④, består bl.a. af Odderup Formationen, der er kendt fra brunkulslejerne i Midtjylland. Odderup Formationen udgør kun lokalt et grundvandsmagasin i det sydlige Jylland, men er mere udbredt i Midtjylland. Ligesom "Bastrup sand" er Odderup Formationen aflejret i et fremrykkende kyst og delta system. Omkring forkastningssystemer i Midtjylland, er der afsat ret tykke brunkulslag.

Sekvens ⑤ og ⑥, indeholder ingen grundvandsmagasiner i Danmark.



Figur 4. Korrelation af borer og daglokaliteter i Syd- og Østjylland. Korrelationerne er baseret på sekvensstratigrafiske principper (se Geologi - nyt fra GEUS, nr 1: 1998). På figuren ser man tydeligt, hvordan de tre grundvandsmagasiner Ribe Formationen, Bastrup Sand og Odderup Formationen er fordelt i lagserien. De lysere lodrette områder på profilinien angiver boringernes beliggenhed; den takkede kurve viser målinger fra en gamma-log der måler den naturlige radioaktivitet i jordlagene.

Sprækker, vand og olie i kalk

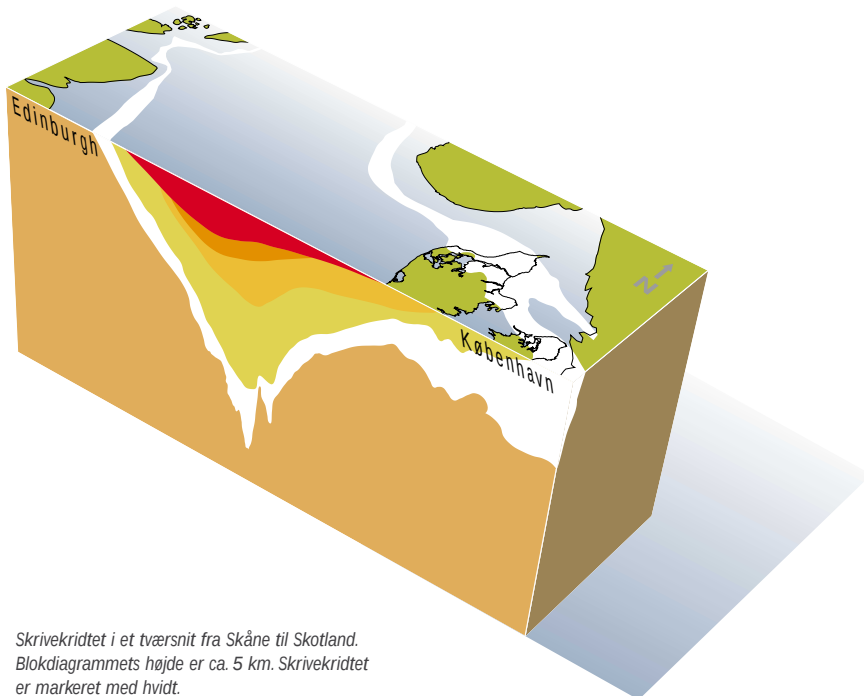
Kim Zinck-Jørgensen
Klaus Hinsby

Under hele Danmark ligger kalken som et flere hundrede meter tykt, ubrudt lag af overvejende finkornede kalkslams aflejringer fra kridttiden (Campanian – Danian). Kalkslammet blev for mere end 60 millioner år siden aflejret i et lavvandet tropisk havområde, som strakte sig fra det skandinaviske grundfjeld i øst til England i vest. I den østlige og nordlige del af Danmark ligger skrivekridtet i dag meget overfladenært, og ses bl.a. blottet ved Stevns og Møns klinter samt langs Limfjorden. I vestlig og sydlig retning er kridtet begravet under gradvist tykkere sand- og ler aflejringer fra tertiær og kvartærtiden. I den centrale del af Nordsøen ligger kridtoverfladen begravet i 2 til 3 kilometers dybde.

Den overfladenære beliggenhed af kridtet i den østlige og nordlige del af Danmark, betyder at kridtet i disse områder udgør det vigtigste grundvandsmagasin. På landsplan kommer ca. en tredjedel af grundvandsindvindingen fra kalkaflejringer. Men også de dybtliggende kridtlag i den centrale del af Nordsøen er uhyre vigtige reservoirbjergarter, her dog ikke for vand men for olie og naturgas. Danmark er Europas tredje største producent af olie og gas, med en årlig produktion til en værdi af mere end 25 milliarder kr., og denne produktion kommer i dag næsten udelukkende fra Skrivekridtet i Nordsøen.

En øget forståelse af strømningsmekanismer i kalk er derfor af afgørende betydning for, såvel en bedre udnyttelse og beskyttelse af en væsentlig del af vores grundvandsmagasiner, som en forøget indvindingsgrad af vores olie og gas reserver.

Traditionelt er oliegeologi og hydrogeologi to adskilte verdener med forskellige fagtermer og begreber, også selvom der rent fagligt er et meget stort overlap. Det er nemlig grundlæggende for begge fagområder, at det basalt set handler om opmagasinering og strømning af væsker i porøse bjergarter. Det faktum synes endnu mere åbenlyst i



Skrivekridtet i et tværsnit fra Skåne til Skotland. Blokdiagrammets højde er ca. 5 km. Skrivekridtet er markeret med hvidt.

tilfældet med det danske skrivekridt, hvor der fra præcis den samme bjergart produceres såvel olie og gas som rent drikkevand. GEUS har mange års erfaring på både grundvands- og olie-området, og har i kraft af denne ekspertise et enestående udgangspunkt for fagligt at bygge bro mellem de to fagområder. I et snart afsluttet EU forskningsprojekt om udvikling af forbedrede metoder til evaluering af marginale kalk-oliefelter, har GEUS netop udnyttet denne multidisciplinære ekspertise på vand- og olieområdet. I det følgende vises nogle metoder og resultater fra EU-projektet "Modelling Two-Phase Flow in Fractured Carbonate Reservoirs: A Field Scale Demonstration". I projektet samarbejder Europæiske universiteter, olieselskaber og geologiske undersøgelser om at undersøge vand- og oliestrømningen i sprækkede kalkreservoirer. De anvendte metoder, til fx kortlægning af kalkens sprækker og hydrauliske egenskaber, vil med stort udbytte også kunne anvendes i fremtidige forskningsprojekter og almindeligt udredningsarbejde på grundvandsområdet.

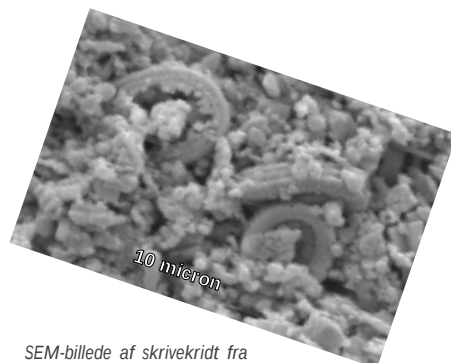
Kalken som reservoirbjergart

Skrivekridtet består hovedsageligt af kokkolitter, som er brudstykker af kalkskeletter fra éncelledede marine alger. Den enkelte kokkolit er kun 0,002 til 0,02 mm stor, og Skrivekridtet er derfor en meget finkornet bjergart. Som følge af kokkolitternes struktur kan kridtet være ekstremt porøst, hvilket er ensbetydende med at skrivekridtet er en uovertruffen reservoir bjergart – i hvert fald når vi taler om mulig reservestørrelse. Hvis skrivekridtet efter aflejringen ikke har været udsat for store forvandlinger (som f.eks. omfattende kompaktion eller udfældning af mineraler i porerummen) kan det have porøsiteter på op til 50%. Skrivekridtet fra Stevns Klint har således typisk porøsiteter på mellem 40% og 50%, og selv i Nordsøen på mere end 2 kilometers dybde, er der flere eksempler på kridtlag med porøsiteter på over 40%. Til sammenligning kan nævnes at selv det mest velsorterede, løse sand meget sjældent ses med porøsiteter på over ca. 40%.

På trods af de høje porøsiteter, har den finkornede kridtbjergart generelt meget dår-

lige strømningsegenskaber, og væsker strømmer kun meget langsomt gennem bjergartens porøse netværk. De ofte meget store mængder af vand eller olie, der er i danske kridtreservoirer er derfor vanskelige at udvinde. Olieindustrien har i adskillige år brugt mange ressourcer på forskning og udvikling af nye teknologier med henblik på at optimere olie & gasproduktionen fra de tætte kridtreservoirer. En del af denne forskning har handlet om naturlige sprækkesystemers betydning for strømningsegenskaberne. Sprækker opstår som følge af bevægelser i jordskorpen, og selv små bevægelser eller forskydninger vil i en sammenhængende bjergart ofte medføre dan-

nelsen af sprækkesystemer. Disse sprækkesystemer kan fungere som en slags kanaler for strømmende olie eller vand. En øget forståelse for disse sprækkes dannelse, rumlige fordeling og strømningsegenskaber, kan derfor bidrage til en forbedret ressourceudnyttelse. I relation til grundvandet har tilstedeværelsen af de naturlige sprækkesystemer desuden stor betydning for nedsivning og udbredelse af en evt. forurening på overfladen.



SEM-billede af skrivekridt fra Stevns Klint. Kridtet består næsten udelukkende af kokkolitter og kokkolitfragmenter.
Foto: Peter Frykman.



Udstrømmende grundvand fra en horisontal sprækkezone i Øvre Danian Københavns Kalk på Amager.
Foto: Christian Knudsen.

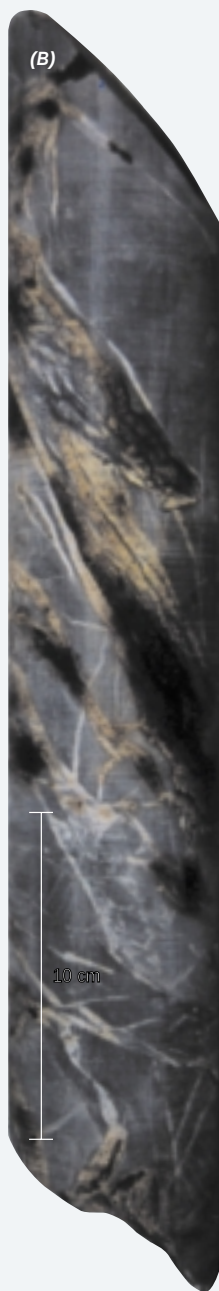
Olie og vand i et opsprækket kalkstensreservoir

Et ikke-kommercielt oliefelt i Portugal er rammen om et igangværende 3-årigt EU-forskningsprojekt - "Modelling Two-Phase Flow in Fractured Carbonate Reservoirs: A Field Scale Demonstration". Projektet har til formål at demonstrere anvendelsen af nye integrerede teknologier til vurdering af strømning af både vand og olie i opsprækkede kalkstensreservoirer. Det udføres i samarbejde med andre europæiske forskningsinstitutioner og olieselskaber. Oliefeltet ligger i et område med vinmarker lidt nord for Lissabon, og reservoirbjergarten består af opsprækkede kalksten fra juratiden. Den rumlige fordeling af sprækker og forkastningszoner, samt deres strømningsmæssige egenskaber, er kortlagt med henblik på at opstille en matematisk strømningsmodel. I løbet af projektet er der gennemført seismiske undersøgelser (A), tre kerneboringer (B) til hver ca. 300 meters dybde samt geofysiske sondemålinger (C) og hydrauliske test (D) i borehullerne. De nyeste tilgængelige teknologier fra såvel olie- som vandbranchen er blevet anvendt. Alle de indsamlede data anvendes ved opstillingen af geologiske og numeriske modeller (E, F, G) af geologien i området der undersøges.



(C) Ved hjælp af geofysiske sondemålinger bestemmes variationerne i de gennemborede bjergarters naturlige radioaktivitet, elektriske ledningsevne, akustiske egenskaber m.v. Disse målinger er nødvendige for en detaljeret lithologisk beskrivelse og præcis korrelation mellem borerne.

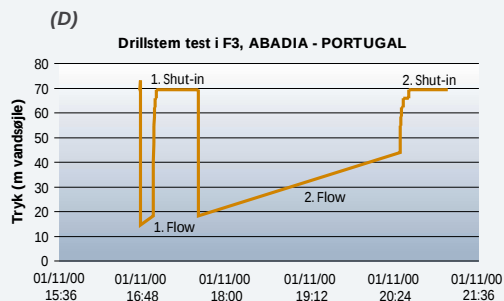
To forskellige specialsonder - en Optisk og en Akustisk Televiwer - er anvendt til detektering og orientering af de gennemborede sprækker. Sonderne frembringer henholdsvis optiske og akustiske billeder af hele borehuls-væggen. Den Optiske Televiwer giver de bedste billeder (C-1), men er afhængig af luft eller klart vand i borehullet. Den Akustiske Televiwer (C-2) fungerer til gengæld i alle slags væsker, men ikke i luft. Fra den samlede tolkning af alle logs opstilles en geologisk model (log) for borehullet (C-3).



(B) Det opborede kernemateriale beskrives lithologisk og sprækkernes fordeling og strømningsmæssige egenskaber kortlægges. Udvalgte olieprøver analyseres for deres kemiske sammensætning og oprindelse.

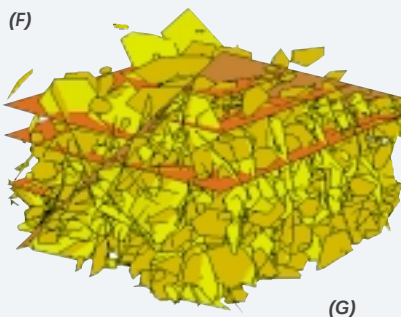
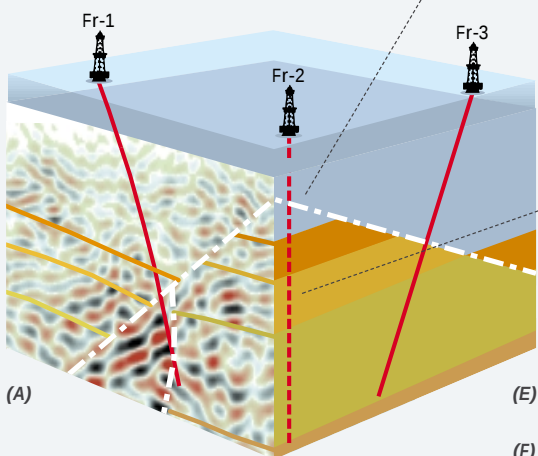
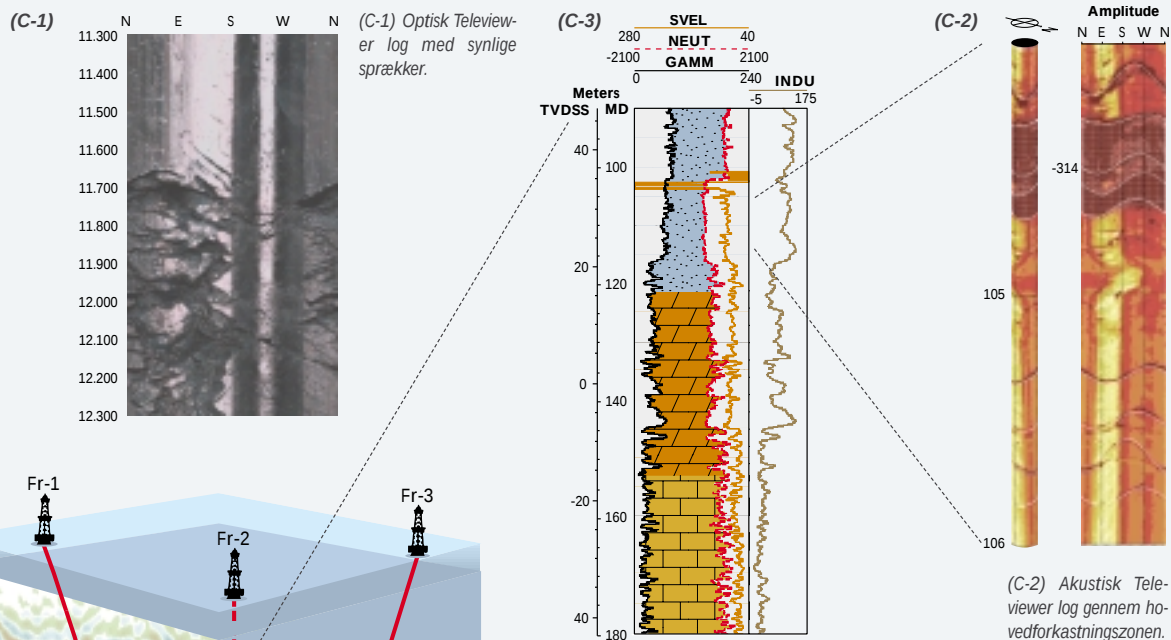
(A) Seismiske undersøgelser anvendes indledningsvist til at kortlægge forkastninger og overordnede geologiske enheder og lag. Herudfra bestemmes boreringsne placering og hældning.

(E) Oliefeltets geologiske lagserie samt større forkastninger kortlægges ud fra de seismiske undersøgelser og boreresultaterne. Fr-2 er en vertikal boring, mens Fr-1 og Fr-3 er boret på skrå (30° fra vertikal). Alle brønde gennemborer den samme større forkastningszone.

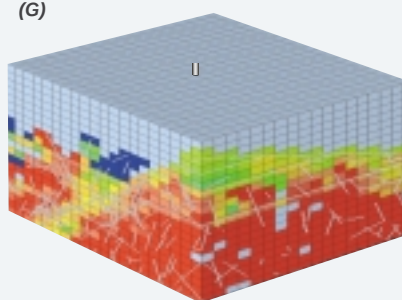


(D) Slug test og drillstem test er to typer hydrauliske tests, der anvendes til at beregne permeabiliteter i de gennemborede bjergarter i hhv. grundvandsmagasiner og oliereservoirer. Begge testtyper er anvendt ved undersøgelserne i Portugal. Figuren viser et typisk forløb af en drillstem test.

i Portugal



(F) Numerisk model af olie-feltets sprækker og forkastninger. De målte densiteter og orienteringer af sprække- og forkastningszoner er efter statistisk bearbejdning anvendt til sprækkemodellen.



(G) På baggrund af sprækkemodellen beregnes ledningsegenskaberne for en strømningmodel.

Hydrauliske test (D) er udført i alle tre borer i Portugal. Testudstyret, et dobbelt gummipakker system, der kan pustes op som et bildæk og afspærre zoner i borehullet, er udviklet efter samme princip som de testsystemer olieindustrien anvender til større borer. På baggrund af resultaterne udregnes den hydrauliske ledningsevne for hvert testinterval. Testresultaterne bruges til justering af den geologiske model (E) samt af matematiske sprække- og forkastningsmodeller (F og G), der anvendes ved beregninger af olie- og vandstrømning i reservoiret.

Geologiske data forbedrer grundvandsmodeller



Jens Christian Refsgaard
Lars Trolborg

En grundvandsmodel er afhængig af den geologiske tolkning og de geologiske data, der indgår i den bagvedliggende geologiske model. Man vil derfor forvente, at en grundvandsmodel bliver mere pålidelig jo flere og bedre geologiske data den fodres med. For at belyse dette er der for det 288 km² store Vårby område (figur 1) på Vestsjælland opstillet tre forskellige geologiske modeller og på den baggrund etableret tre forskellige grundvandsmodeller.

Tre forskellige geologiske tolkninger

Forskellene på de tre geologiske modeller er illustreret på (figur 2), som viser et profil midt gennem området (A-B på figur 1). De tre modeller betegnes som henholdsvis "Simpel", "DK-model" og "Avanceret". De tre geologiske tolkninger er lavet af tre forskellige medarbejdere på GEUS.

① I den simple model opfattes grundvandssystemet som bestående af to lag, med et gennemgående tykt vandførende magasin (sand), som er overlejret af et lav-permeabelt lerlag af varierende tykkelse. Dette svarer til den meget simple opfattelse af morænelersområderne, som med stor succes er blevet benyttet tidligere i bl.a. vandressourceundersøgelser (fx i det nærliggende Suså område for et par årtier siden). Det bemærkes, at der i de enkelte borer findes både lerlag og sandlag, men med en væsentlig mere kompliceret struktur end svarende til en to-lags model. Den simple model må altså siges at være relativ fattig på geologiske data.

② DK-modellen er den geologiske model, som benyttes i GEUS' Nationale Vandressource Model. Denne tolkning er baseret på flere gennemgående geologiske lag. DK-modellen er oprindeligt opstillet til brug for en grundvandsmodel i et beregningsnet på 1 km², dvs. med en væsentlig grovere opløsning end i nærværende Vårby model, som er baseret på et beregningsnet på 250 m. Der er bedre overensstemmelse mellem de geologiske informationer i bo-

Geologisk model	Geologisk information	Antal frie modelparametre	Nøjagtighedskriterium. Mål for afvigelse mellem model og feltdata
Simpel	Lav	3	2,1 m
DK-model	Middel	8	1,9 m
Avanceret	Høj	4	1,5 m
		5	1,0 m

Tabel 1. Hovedresultater fra de tre Vårby modeller.

ringerne og flerlagsmodellen, end for to-lags modellens vedkommende.

③ Den avancerede geologiske model er den mest komplicerede, specielt i de øvre lag. Den er i modsætning til de to andre modeller baseret på, at de geologiske lag ikke nødvendigvis er gennemgående, men

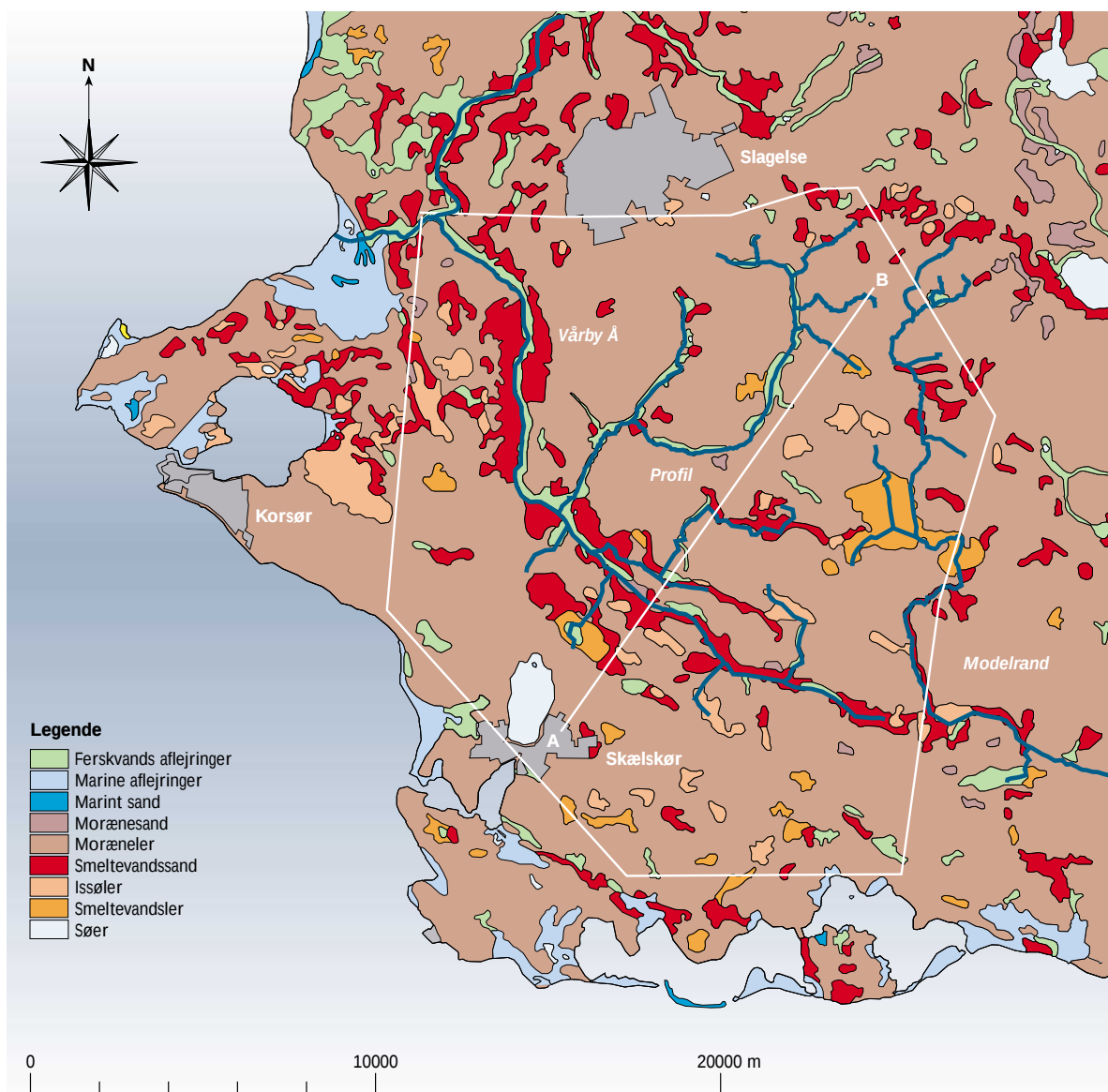
kan være afgrænsede som linser.

Selv om det således er den model, der indeholder mest geologisk information, og den der er tættest på boreringsinformationerne, ses den stadig at være en forenkling af virkeligheden.



Størstedelen af Vårby Å oplandet er en moræneflade, der skæres af ådale. I den nordlige del af området er der et dødslandskab. Det højtliggende terræn fra Slagelse og mod syd består af forstyrrede kvartære aflejringer, som derved har fået øget geologisk variabilitet.

Foto: Vibeke Ernstsén, (Vårby området).



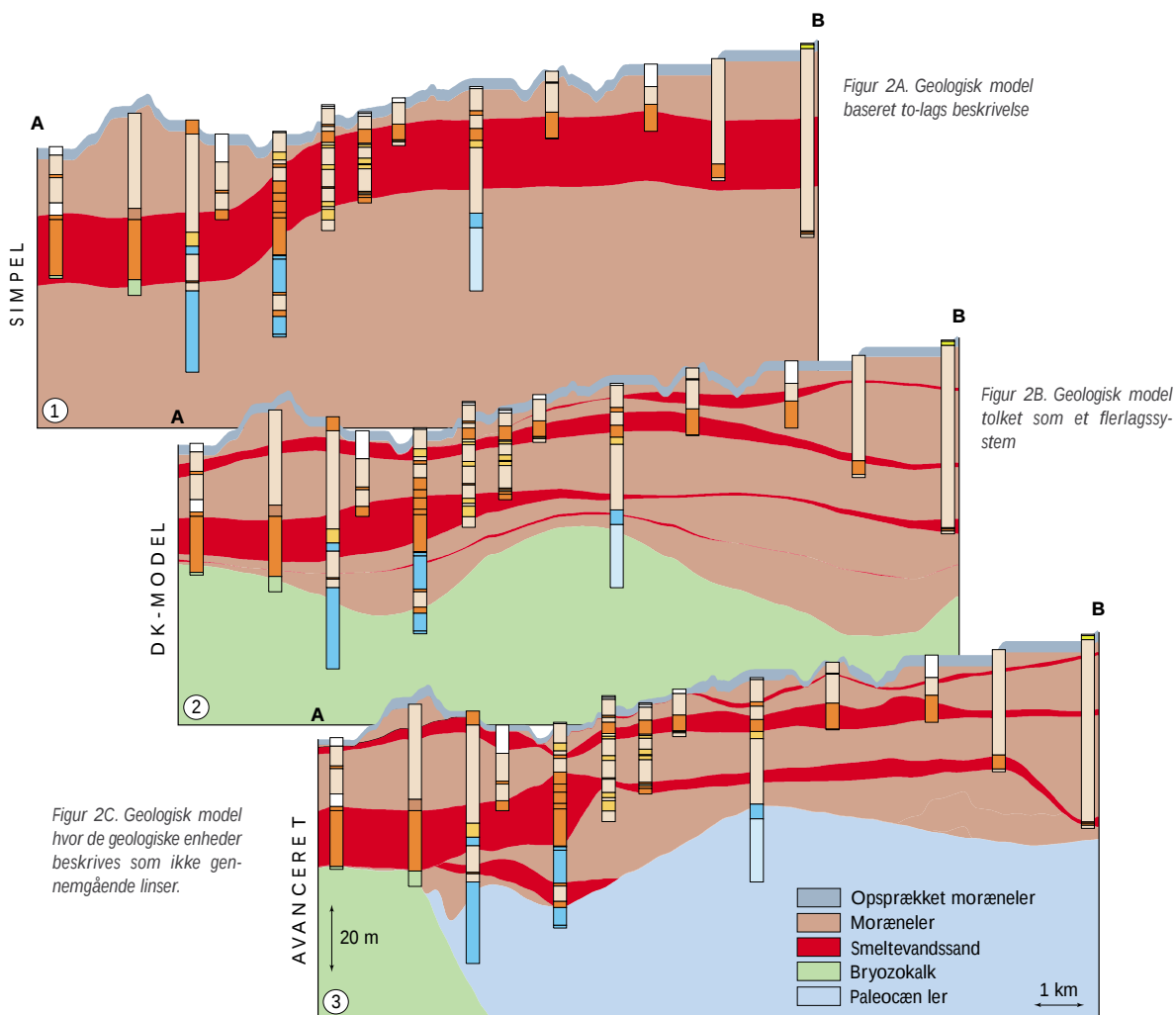
Figur 1. Vårby området på Vestsjælland med modelområdet indtegnet. A-B svarer til profilerne som vist i figur 2.

Kalibrering af parameterværdier for de tre grundvandsmodeller

De tre modeller er blevet kalibreret mod observationer af trykniveauer (grundvandsstand) fra 315 filtre i området. Det er sket ved at justere den hydrauliske ledningsevne for de enkelte lag således, at afvigelserne mellem de modelberegnete og de observerede trykniveauer gøres så lille som muligt. Antallet af frie modelparametre, som

fastsættes gennem denne kalibrering fremgår af tabel 1. Den simple model har tre parametre, nemlig de hydrauliske ledningsevner for henholdsvis den øverste opsprækkede del af moræneleret, den nedre del af moræneleret samt for sandmagasinet. Tilsvarende repræsenterer de fire parametre i DK-modellen de hydrauliske ledningsevner i henholdsvis det øverste opsprækkede moræneler, det dybere liggende

moræneler, sandmagasinet samt de lerområder, som har tektoniske forstyrrelser. For den avancerede models vedkommende er de fem parametre fordelt som i de øvrige modeller med to for moræneleret og en for sandmagasinet. Derudover er der en parameter for randmoræneområdet, hvor der er glacialtektoniske forstyrrelser, samt en parameter for dybere liggende palæocæne aflejringer.



Bedre geologi giver bedre grundvandsmodeller

Den forholdsvis nøjagtighed af de tre grundvandsmodeller fremgår af tabel 1. Det angivne nøjagtighedskriterium er en vægtet afvigelse for samtlige 315 punkter, hvor de punkter med pålidelige feltobservationer er vægtet højere end de punkter, der har mindre pålidelige feltdata. Som det ses af tabel 1 giver den model, der indeholder flest geologiske informationer de mest nøjagtige resultater. For at undersøge hvorvidt det lavere indhold af geologisk information kan kompenseres ved at underindele grundvandsmagasinet i den simple

model i flere zoner med forskellige parameterværdier er der foretaget beregninger med 6 zoner. Flere frie parametre giver større mulighed for at tilpasse modelberegninger mod feltdata, men omvendt vil for mange frie parametre som regel resultere i større statistisk usikkerhed i de endelige modelberegninger, når modellen skal benyttes til at forudsige f.eks. vandets alder eller koncentrationer af forurenende stoffer. Det er derfor bedst at have så få frie parametre som muligt i en grundvandsmodel. Af tabel 1 fremgår det at selv med en kraftig øgning af antallet af frie parametre (fra 3 til 8) vil resultaterne af den simple model

ikke blive så god som resultaterne fra de øvrige to modeller, som indeholder flere geologiske informationer. Det kan således konkluderes, at grundvandsmodeller bliver mere pålidelige og giver mere nøjagtige resultater jo mere geologisk information de udnytter.



Ferskvand og ...



SAMFUNDET

GEUS udvikler og gennemfører hele tiden nye undersøgelser til at øge vores viden om danmarks geologi og vandressourcer. Dette temanummer beskriver og illustrerer nye resultater fra nogle af disse undersøgelser.

Det moderne menneske synes stadig fjernere fra den natur, vi er skabt i. Samfundets stigende kompleksitet og resourceforbrug er imidlertid stærkt afhængig af naturgrundlaget, og naturressourcerne må forvaltes med omtanke, hvis vi vil undgå at det intense resourceforbrug skader os selv, og økosystemerne vi udnytter. Hensigtsmæssig forvaltning af grundvandsressourcen kræver, at vi i stigende grad regulerer vores aktiviteter, og forstår processerne i naturen, således at den stigende forurening af grundvandet bremses.

Da der er store og ofte modstridende økonomiske interesser involveret i reguleringer, er det afgørende at de foretages på det bedst tænkelige grundlag, og på baggrund af en optimal forståelse af de processer, der har betydning for konsekvenserne af reguleringerne.

Misforståede reguleringer koster samfundet dyrt, og kan resultere i yderligere omkostninger for at udbedre skaderne. Gode geologiske modeller af Danmarks undergrund er et nødvendigt og vigtigt fundament for det danske samfund. Der er i Danmark en lang tradition for administration af drikkevandsressourcen. Der er, som følge af vandforsyningsloven fra 1927, blevet indberettet oplysninger om udførte borer til den nationale geologiske undersøgelse, dengang DGU nu GEUS. I Borearkivet er oplysninger om mere end 200.000 borer opbevaret. Oplysningerne er gjort tilgængelige på flere medier og er til rådighed for alle, både private og offentlige myndigheder, der arbejder med at finde, fordele og beskytte ferskvandet.



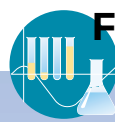
MILJØET

Menneskets aktiviteter og miljøgifte spores i dag overalt på jorden f.eks. i isbjørne på Grønland, i isen på Sydpolen, og dybt under jordoverfladen i grundvandsmagasinerne. Derfor er det nødvendigt på globalt plan at forvalte ressourcerne og miljøet efter en samlet forståelse af alle processer og kredsløb, både over og under jordens overflade.

Et eksempel på en alvorlig global miljøpåvirkning er CFC-gasserne ("Freon"). Ved opfindelsen af disse for omkring 70 år siden blev det dokumenteret, at de var ufarlige for mennesker, og de fandt derfor udbredt anvendelse i industrien. Miljøforskningen dokumenterede senere, efter ca. 50 års udbredt anvendelse af gasserne, at CFC-gasser nedbryder atmosfærens ozonlag. Dette ville på længere sigt få negative konsekvenser for alle jordens dyr og planter, og produktionen blev derfor stoppet. CFC-gasserne har imidlertid en levetid på flere hundrede år i atmosfæren, så de vil kunne måles, og nedbryde ozon i atmosfæren, længe endnu. Ironisk nok hjælper CFC gasserne, til en øget forståelse af transporten af forurenende stoffer i grundvandet. Uden atmosfære-kemikerne og et omfattende globalt måleprogram af CFC-gasserne i atmosfæren, havde anvendelsen af CFC-gasserne, som et værdifuldt sporstof og redskab til at bestemme grundvandets alder ikke været mulig.

Men allervigtigst så ville fortsat brug af CFC-gasser have bevirket at jordens ozonlag og dermed mange økosystemer havde lidt ubodelig skade.

Geologisk kortlægning og opstilling af grundvandsmodeller på basis af en detaljeret geologisk model er nødvendige forudsætninger for at vi kan beskytte miljøet på det bedst tænkelige grundlag. Ikke blot for at kunne regulere kvaliteten af grundvandet, men også af overfladevandet i søer, åer og have.



FORSKNINGEN

Forskning i ferskvandsressourcens kvalitet og størrelse er et tværfagligt projekt, der kræver deltagelse af mange forskellige faggrupper, som udover geologer især tæller ingeniører, kemikere, biologer, geografer og geofysikere. GEUS har aktive forskere fra alle disse faggrene, hvilket giver et stimulerende forskningsmiljø med mulighed for at foretage en stor del af de nødvendige og relevante naturvidenskabelige forsøg og undersøgelser. Det er nødvendigt for alle faggrupper, at have et godt kendskab til undergrundens kemiske, fysiske og mikrobiologiske egenskaber og kunne udnytte hinandens ekspertiser for at gennemføre forskning på internationalt niveau.

Opsprækkede bjergarter giver specielle udfordringer. Paralleller mellem problemstillinger i udnyttelse af opsprækkede oliereservoir og beskyttelse af opsprækkede grundvandsmagasiner, eller grundvandsmagasiner under opsprækkede dæklag, giver olie- og hydrogeologer gode muligheder for at samarbejde og gensidigt udnytte hinandens erfaring og tolkningsredskaber. Kortlægningen af Danmarks undergrund er et eksempel på et område, hvor der endnu foreligger et stort stykke arbejde og fremtidige samarbejdsmuligheder mellem olie- og vandforskerne. Kortlægningen af jordbunden til 1 meters dybde i Danmark er stort set afsluttet. Nu er det påkrævet med en mere systematisk kortlægning af Danmarks grundvandsmagasiner og deres dæklag (typisk øverste 100-200 meter af den geologiske lagsøjle), hvor også grundvandets kemi og alder, og jord- og bjergarternes kemiske og fysiske egenskaber bør undersøges og beskrives. Alle disse data bør samles i en let tilgængelig central databank. De indsamlede data er nødvendige for at skabe et godt grundlag for en bedre udnyttelse og beskyttelse af grundvandet, men også for at vurdere muligheden for udnyttelse af andre værdifulde råstoffer.

Ordliste

Sekvensstratigrafi: Opdeling af lagserie på baggrund af inkonformiteter (markante grænser). Derved opdeles lagserien i tidsækvivalente enheder som er relateret til relative havniveau ændringer.

Biostratigrafi: Datering ved hjælp af forsteninger

Sporstoffer: Anvendes i denne sammenhæng om stoffer der kan bruges til at "spore"/følge vandtransporten i grundvandet.

Sporelementer: Anvendes om grundstoffer der almindeligvis forekommer i meget små koncentrationer i grundvandet.

Porøsitet: Volumen af porerum i en bjergart eller jordart

Permeabilitet: Et mål for hvor let en væske kan flyde igennem porerummene i en formation /bjergart.

Isotoper: Samme grundstof med forskellig atomvægt (forskellige antal neutroner i atomkerner)

Her kan man læse videre

De Villiers, M. 2000

Water: The fate of our most precious resource. Houghton Mifflin Company, Boston – New York, 352 pp.

Dybkjær, K. og Rasmussen, E.S. 1998

Sekvensstratigrafi - En god metode til efterforskning af råstoffer. Geologi - nyt fra GEUS, nr.1/1998.

Edmunds, W.M. og Milne, C. 2000

Palaeowaters in Europe. Geol. Soc. Spec. Publ. – i trykken.

EEA, 1999

Groundwater quality and quantity in Europe. European Environment Agency, Copenhagen, 123 pp.

GEUS, 2000

Grundvandsovervågning 2000. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 137 pp.

Henriksen, H.J.; Barlebo, H.C.; Ernsten, V.; Hansen, M.; Harrar, W.G.; Jakobsen, P.R.; Klint, K.E. og Trolborg, L. 2000

Anvendelse af regionale pesticidmodeller som prognoseværktøj. Miljøforskning 42, side 40-42. Det Strategiske Miljøforskningsprogram.

Hinsby, K.; Edmunds, W.M.; Loosli, H.H.; Manzano, M.; Melo, M.T.C. og Barbecot, F. 2001
The modern water interface: recognition, protection and development - Advance of modern waters in European coastal aquifer systems. I: Edmunds and Milne (Eds.). Palaeo waters in Europe. Geol. Soc. Spec. Publ., i trykken.

Hinsby, K. 1999

Aldersdatering af grundvand - et vigtigt redskab i forvaltning af vandressourcen. Danske Vandværkers Forening, Vandforsyningsteknik nr. 48.

Hinsby, K.; Larsen, F.; Nielsen, O.J. og Laier, T. 1998

Grundvandets alder. Naturens Verden, 2/98, 72-80.

Hinsby, K. 1998

Jagten på rent vand. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Årbog 1997, 33-43.

Hinsby, K.; Laier, T. og Dahlgaard, J. 1997

Datering af grundvand - ved hjælp af CFC. Geologisk Nyt, 2. 6-9.

Hinsby, K. 1994

Den blå planet - vandets uransagelige veje. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Årbog 1993, 38-43.

Nielsen, M.D. 1981

Det hydrologiske Susåprojekt. Vandindvindingens påvirkning af det hydrologiske kredsløb, Rapport SUSÅ-H A2. Dansk Komite for Hydrologi. Miljøstyrelsen.

Nygaard, E.; Nyegaard, P. og Hinsby, K. 1995

Grundvand i Danmark. Kvalitet, fordeling og alder. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Årbog 1994, 79-87.

Rosenbom, A. og Jakobsen, P.R. 2000

Kalk, sprækker og termografi. Geologi - nyt fra GEUS, nr. 3/2000.

Læs videre på internettet [www...](http://www.geus.dk)

På GEUS' internetside; www.geus.dk kan man få en oversigt over projekter der vedrører grundvand og grundvandsmagasiner samt andre geologiske projekter der har berøring til grundvandsområdet.

Man kan også gå ind på følgende internetsider;

www.fracflow.dk

www.vandmodel.dk

www.vandressourcer.dk



Vandet indgår i et uendeligt kredsløb! Her ved Skagens Gren mødes land, hav og luft, tre opholdssteder for vand. Grundvand er nedbør, der til sidst ved strømning i vandløb og i grundvandet ender i havet for atter at fordampe. Opholdstiden i de enkelte led af kredsløbet er meget forskellig; fra få minutter til millioner af år. Et enkelt vandmolekyle kan derfor gennem tiden opholde sig i vidt forskellige medier, også i biologiske; fx i en dinosaur, en hval, en plante eller i et menneske.

Foto: Peter Moors.



Klaus Hinsby. Seniorforsker. Cand. Scient. i Geologi og grundvandskemi fra Københavns Universitet, 1988. Ansat på GEUS fra 1988. Hans hovedinteresse er grundvandets kemiske udvikling og strømning, og metoder til at bestemme grundvandets alder. Pt. i midlertidigt fravær af Hydrologisk Afdelings geofysiker, ansvarlig for den faglige og tekniske udvikling af log-sektionens borehulsmålinger.



Erik Skovbjerg Rasmussen. Seniorforsker. Cand. scient. i geologi fra Aarhus Universitet i 1987 og Ph.D. i 1994. Ansat ved GEUS i 1987 i Geofysisk Afdeling beskæftiget med udviklingen af sedimentære bassiner i Nordsøen, Vestafrika, Portugal og Nordatlanten. Det nuværende arbejde er koncentreret om udviklingen af det østlige Nordsø bassin i oligocæn - miocæn tid.



Kim Zinck-Jørgensen. Seniorrådgiver. Cand. Scient. i geologi fra Københavns Universitet 1989. Har været ansat ved GEUS siden 1990 med reservoirgeologisk evaluering af de danske olieletter i Nordsøen som hovedbeskæftigelse. En væsentlig del af arbejdet har omhandlet sprækkers betydning for produktionsegenskaberne i kalkletter.



Lars Trolborg. Civ. Ing. fra ISVA på DTU i 1997. Ansat på GEUS i 1998 for at udføre modelarbejde og gennemføre Ph.D. under Den Nationale Vandressource Model. Primært arbejdsområde har været integreret hydrologisk modellering på regional skala og arktisk hydrologi. Påbegyndte Ph.D. studiet i 1999 om grundvandsdannelse og sårbarhedszoner.



Jens Christian Refsgaard. Civ. Ing. fra DTU i 1976. Ansat på DTU 1976-1984 som underviser, forsker og rådgiver indenfor hydrologi og vandressourcer. Herefter ansat på DHI Vand og Miljø indtil 2000. Tiltrådt som forskningsprofessor i grundvandshydrologi på GEUS i 2000.

Publikationer fra GEUS

GEUS udsender hvert år redegørelser om institutionens arbejde.

Det drejer sig bl.a. om Virksomhedsregnskab og Årsberetning for året der gik.

I Årsberetningen kan man læse om de vigtigste faglige resultater fx i specialartikler.

I Virksomhedsregnskabet kan man læse om den nærmere sammenhæng mellem det faglige arbejde og de økonomiske midler som GEUS får stillet til rådighed. En tredje udgivelse er Arbejdsprogrammet; her kan man læse om planerne for det faglige arbejde i det kommende år og om budgettet for arbejdet.

Endelig udgives en publikationsliste på elektronisk form.

Samtlige redegørelser kan læses på GEUS hjemmeside og kan rekvireres som papirudgave ved henvendelse til GEUS.

"ARBEJDSPROGRAM 2001"

"VIRKSOMHEDSREGNSKAB 2000"

"ÅRSBERETNING 1999"



Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) og Klaus Hinsby i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen. Konsulent Marianne Vasard Nielsen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS

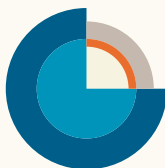
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Internetside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

64 44 16 83 eller telefax: 64 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Vandfald ved Kali Gandaki, Nepal. Foto: Henrik Klinge Pedersen.

Illustrationer: Annabeth Andersen, Eva Melskens, Kristian Rasmussen og Stefan Sølberg.