

Slotsøen ved Frederiksborg Slot i Hillerød.

Der hvor grundvandet kommer naturligt frem til jordens overflade kan der dannes kilder, vådområder, vandløb og søer. Grundvandets kvalitet (kemiske sammensætning) er derfor i første omgang bestemmende for vandkvaliteten i områder med åbent vand og i vådområder. Men vandkvaliteten eller forureningsgraden er i højere grad påvirket af tilførsel af overfladevand med opløste miljøfremmede stoffer eller næringsalte fra de omliggende landområder. Vandet i Hillerød Slotsø er farvet af grøn-alger som er kraftigt opformeret som følge af tilførsel af næringsstoffer.




VANDRESSOURCER - ET OMRÅDE AF STOR STRATEGISK BETYDNING

Bjarne Madsen

Grundvand og drikkevand har altid spillet en central rolle i GEUS' arbejde. Allerede i 1926, med vedtagelsen af verdens første vandforsyningslov, fik det daværende DGU rollen som fagdatacenter på grundvand. En status der bl.a. har medført, at GEUS i dag råder over geologiske og hydrogeologiske oplysninger fra over 250.000 borerer fordelt over hele landet.

Disse oplysninger danner en væsentlig del af ryggraden i GEUS' ekspertise og videnopbygning på vandområdet og er forudsætningen for forståelsen af det geologiske miljø; det vil bl.a. sige jordlagenes opbygning og betydningen heraf for grundvandets strømningsforhold.



Mange års kortlægning og dataindsamling har ført til en informationstæthed og en detaljeringsgrad, der i international sammenhæng er enestående og som er fundamentet for den forskning og rådgivning institutionen vil kunne yde.

Hertil kommer mere end 10 års intensiv dataindsamling i vandmiljøplanens overvågningsprogram, som er en af forudsætningerne for at kunne vurdere grundvandets kvalitetsforhold, både med hensyn til traditionelle makroioner og med hensyn til organiske og andre forureningskomponenter.

Denne store informations-tæthed, der også gælder for en række andre jordfysiske data, kan nyttiggøres væsentligt bedre end tilfældet hidtil har været. Det er ikke længere nok blot at kortlægge, undersøge og beskrive.

For at kunne bidrage til løsning af de problemstillinger på vandområdet, som samfundet står over for, er det nødvendigt, at indsatsen på vandområdet målrettes mod at muliggøre analyser og beregninger af konsekvenser, der er en følge af forskellige tiltag og udviklingstendenser på området.

Kernen i dette vil være tilvejebringelse af en grundlæggende viden om vandets strømningsforhold, mængde, hastighed, retning og opholdstid som funktion af det geologiske miljø; uden denne indsigt vil f.eks. nytteværdien af viden om de kemiske og mikrobiologiske processer i vandet være mindre.

Geologiske observationer, som ikke bringes i en strømningsmæssig forståelsesramme, vil i denne sammenhæng desuden kun være et mål i sig selv. Omvendt vil viden om stoffernes transport kunne anvendes til at fastlægge strømningsveje og -hastigheder med større sikkerhed.

Udfordringen i arbejdet vil være at tilstræbe en stadig stigende integration af datagrundlag og modellering og derigennem optimere værdien af dataindsamlingen samt at kunne bestemme usikkerheden af beregningerne på forskellige skalatrin.

Som kilde for Danmarks vandforsyning vil grundvandet være det centrale element i indsatsen. Men for at kunne vurdere omgivelsernes påvirkning og indflydelse på det omgivende vandmiljø er det nødvendigt at se grundvandet i et større perspektiv og i

sammenhæng med de øvrige elementer af det hydrologiske kredsløb (nedbør, snesmeltning, fordampning, nedsivning, drænastrømning og vandløbsafstrømning) for derigennem at kunne vurdere vandressourcens samlede størrelse, fordeling og tilgængelighed.

Det er vigtigt ikke kun at se vandressourcen ud fra en teknisk synsvinkel. Det er lige så vigtigt få de samfundsrelevante konsekvenser belyst, så det bliver muligt at sikre en koordineret udvikling ved håndteringen af vand, land og tilknyttede ressourcer gennem optimering af den økonomiske og sociale velfærd, men uden at undergrave bæredygtigheden af vandmiljøet. Det er det der i international sammenhæng hedder "Integrated Water Resources Management".

Det er denne tværfaglige udfordring, der ligger for; arbejdet hermed vil ikke blot vil være et vigtigt element ved betjening af det danske samfund, men også på væsentlige områder bidrage konstruktivt til løsning af internationale bistandsopgaver, hvor Danmark traditionelt spiller en markant rolle.



Fig. 1 Regnvåd landevej et sted på Fyn.

Den eneste kilde til grundvand er nedbør (regn og sne). Grundvandsdannelsen finder sted i perioder, hvor nedsvinngen gennem jordlagene er større end fordampningen fra jordoverfladen og den overfladiske afstrømning til vandløb og søer eller til havet. Grundvandsdannelse finder derfor mest sted i vinterhalvåret i det åbne land. Men i større bebyggede arealer finder ingen grundvandsdannelse sted. Det lille billede er fra Vesterbro i København.



Fig. 2 Vanddråber på planter i en kornmark nær Borsholm. En betragtelig del af fordamningen af nedbøren foregår fra planternes overflade i vækstsæsonen. En del af det vand, som ikke fordamper, siver ned i jorden og kan blive afledt gennem drænrør til drængrøfter, som på billedet.



GRUNDLÆGGENDE FORSKNING OG METODEUDVIKLING

For at kunne løse de skitserede problemstillinger er der et åbenlyst behov for en særlig videnopbygning om de forhold, der styrer vandtransporten og de processer, der finder sted i overgangszonerne mellem grundvandet og de tilgrænsende elementer af vandmiljøet:

1. der hvor vandet strømmer ind og grundvandet dannes; og
2. der hvor grundvandet strømmer ud og bliver til overfladevand

I disse zoner sker en væsentlig del af stofomsætningen (redoxzoner, organisk indhold etc.) og fordelingen af vand (store kontraster i hastighed og strømningsveje). Modelanalyser, der støtter sig til sammenhænge belyst gennem feltstudier, vil være et nødvendigt og væsentligt element for at kunne kvantificere processerne.

GRUNDVANDSDANNELSE

De grundvandsdannende processer bestemmer mængden og kvaliteten af nyt grundvand og kendskabet til processerne er også af betydning for en hensigtsmæssig beskyttelse af både grundvands-

ressourcen og overfladevandet. Kendskabet til de grundvandsdannende processer er relativt mangelfuldt i forhold til den viden, der findes om den egentlige grundvandszone, fordi vi har at gøre med komplicerede strømningsforhold med varierende umættede/mættede forhold, påvirket af kulturtekniske indgreb og med store variationer i vand og stof belastning.

Udfordringen vil være at bestemme nedsvingsmængderne og vandets kvalitet som funktion af nedbør, snesmeltning, arealanvendelse (fordampning, forureningsbelastning, dræning), jordbundsforhold og geologi (omsætning, sorption, heterogenitet og præferentiel strømning).

Det er derfor nødvendigt at fokusere på den umættede zone og den øverste grundvandszone. I grundvandszonen forstås strømningsmekanismerne nemlig relativt godt og udfordringen ligger her mere i at opnå en forståelse af omsætningen af naturlige og miljøfremmede stoffer.

AFSTRØMNING

Lige så vigtigt som det er at kunne analysere påvirkningen af grundvandsressourcen via infiltrationsprocesserne, lige så afgørende er det at kunne vurdere grundvandet påvirkning af det omgivende vandmiljø (vandløb, søer, vådområder og hav) på grundlag af afstrømningsprocesserne.

Dette gælder både mængden og fordelingen af udstrømmende vand samt påvirkningen med forurenende stoffer (pesticider, nitrat etc.) og deres mulige omdannelse i overgangszonen. Der er et yderst mangelfuldt kendskab til specielt opbygningen af de ofte komplekst opbyggede dæklag mellem grundvandsregimet og overfladevandssystemerne og deres hydrauliske funktion og evne til at omdanne forurenende stoffer. Det gælder i en vis udstrækning også sammenhængen mellem forskellige oplandstyper (geologisk, nedbørs- og arealanvendelsesmæssigt) og afstrømningsforholdene i vandløbene (baseflow). Vandløbene rummer oplysninger om grundvandsforholdene, både med hensyn til mængde og kvalitet og er derfor en meget væsentlig faktor som informationskilde om grundvandsressourcen.

PESTICIDER

GEUS har de seneste år prioriteret arbejdet med pesticidforurening særlig højt. Der er heller ingen tvivl om, at pesticiderne i de kommende år fortsat vil indtage en central plads inden for videnopbygningen.

Der er imidlertid også behov for at fokusere på andre potentielle forureningskomponenter bl.a. fenoler, klorerede opløsningsmidler, ætere, lægemidler, blødgørere og detergenter og udnytte den viden, der opbygges om pesticiders transport og nedbrydning på disse stofgrupper.

Hovedtemaet for studierne vil derfor være transport og omdannelse af forurenende stoffer og deres omdannelsesprodukter centreret omkring opskalering fra laboratorium og poreskala til feltskala og regional skala.

Det er her særlig vigtigt at forstå de miljømæssige faktorer, der styrer stoffernes omsætning. Det er især miljøets redoxforhold, der er af betydning, da nogle miljøfremmede stoffer kun ned-

brydes i iltede (aerobe) miljøer, mens andre nedbrydes hurtigst ved fravær af ilt. Ofte sker nedbrydningen kun delvist, hvorved der dannes nedbrydningsprodukter (metabolitter), der i nogle tilfælde har vist sig at være mere skadelige end udgangsmaterialet.

PARAMETERBESTEMMELSE OG SKALAFORHOLD

Bestemmelse af parametre og processer (geologiske, hydrologiske, geokemiske og mikrobiologiske), der kan benyttes i beregninger, er en naturlig og nødvendig del af arbejdet på vandressourceområdet.

Især de numeriske modellers store udbredelse har gjort parameterbestemmelse i forskellig skala til et meget centralt emne, og dermed givet mulighed for at kunne op- og nedskalere.

Et af de store problemer er, at parameterværdierne er afhængige af den aktuelle, fysiske lokalitet og af den valgte skala; de kan således ikke uden videre benyttes på forskellige lokaliteter og i forskellig skala (laboratorium,

feltlokalitet, opland, regional). Kernen i parameterbestemmelsen er opstillingen af geologiske modeller og omsætningen (oversættelse) af geologiske beskrivelser til hydrauliske parametre, herunder især de strukturbetingede forhold f.eks. sprækker i jordlagene.

Konkret løsning af de aktuelle samfundsmæssige problemstillinger, der kan danne grundlag for politiske beslutninger, nødvendiggør udvikling af systemer og værktøjer, med hvilke der med baggrund i viden om parametre og processer kan foretages analyser og prognoser. I den forbindelse er der behov for at sætte særlig fokus på analyser af situationer med ekstremværdier, hvad enten det drejer sig om det geologiske miljø, klimavariationer eller forureningsbelastning.



Fig. 3 Kornmark nær Furesøen. Landbrugets brug af gødning og pesticider har længe bekymret forskere, der beskæftiger sig med grundvandsindvinding og drikkevandskvalitet. Også de ansvarlige myndigheder og den brede offentlighed er blevet opmærksom på problemerne. I stigende omfang er der gennemført dyrkningsregulering f.eks. ved anvendelse af gødning og flere pesticider er blevet forbudt, ligesom der er indført skærpede godkendelsesprocedurer for tilladte bekæmpelsesmidler. Det lille billede viser Vejle Å, der er recipient for afstrømning fra de omliggende landbrugsarealer.

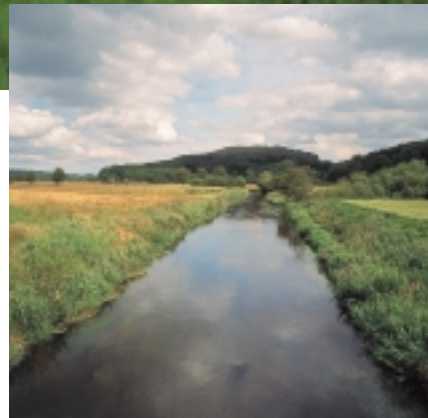




Fig. 4 Kornmark og vandtårn nær Herlev ved København. Vandtårnet placeres så højt som muligt, for at sikre et tilstrækkeligt stort vandtryk i ledningsnettet, så vandet kan nå ud til den fjerneste forbruger. Der bliver jævnligt udtaget prøver til analyse af råvand før vandet når frem til vandværket og ligeledes før det forlader vandværket og pumpes op i vandtårnet og videre til forbrugerne. Det lille billede viser et af GEUS' laboratorier, hvor der bl.a. udføres analyser for indhold af pesticider.

OVERVÅGNING OG VARSLING

Vandressourcens tilstand og udvikling følges nøje gennem det nationale overvågningsprogram. Det efterhånden omfattende datamateriale, der er tilvejebragt, bør indgå som grundlag for en øget videnopbygning om grundvandets kemiske sammensætning i forhold til variationer i det geologiske materiale.

Der er således behov for at justere de faglige angrebsvinkler i overvågningsprogrammet bl.a. i forhold til problemstillingerne ved udnyttelse og beskyttelse af grundvandet.

Varslingssystemet for pesticider er et eksempel på et specialdesignet overvågningsystem, der skal tjene et specifikt formål vedrørende kontrol med nedsivende pesticider. Tilsvarende systemer kunne tænkes i forbindelse med zoner og kontrol af de dybe grundvandsreserver.

Det er ved udformningen af systemerne vigtigt, at der foruden de traditionelle fagdiscipliner inddrages statistiske analyser vedr. repræsentativitet, prøveantal og prøveindsamlings hyppighed.

VÆRKTØJER

For at kunne gennemføre de opgaver, der karakteriserer vandressourceområdet, er det nødvendigt at anvende og videreudvikle en række basisværktøjer, hvoraf nogle af de væsentlige omtales i det følgende.

Den grundlæggende udvikling af værktøjerne vil typisk foregå indenfor de enkelte afdelingers egne faglige miljøer, men kan også ske i samarbejde med andre afdelinger og andre institutioner i ind- og udland.

I geokemisk afdeling er der gennem de seneste år opbygget laboratorier for miljøkemi, grundvandsdatering, mikrobiologi og molekylær biologi. Det miljøkemiske laboratorium muliggør analyse for en række pesticider og omdannelsesprodukter og kan, om nødvendigt også rettes mod andre miljøfremmede stoffer sammen med afdelingens laboratorium for organisk geokemi.

Laboratoriet for grundvandsdatering (CFC-laboratoriet) er med udgangspunkt i erfaringer fra USGS opbygget med henblik på måling af koncentrationen af CFC-gasser i grundvand, hvilket i gunstige tilfælde muliggør

datering af vandets alder med en præcision på ± 2 år. Metoden er imidlertid ikke uden problemer, idet visse af CFC-forbindelserne nedbrydes under anaerobe (iltfrie) forhold og der arbejdes fortsat med afgrænsning af metodens bæredygtighed.

Instrumenteringen i det mikrobiologiske og molekylær biologiske laboratorium muliggør studier af de mikrobiologiske processer, der er af betydning for nedbrydning af miljøfremmede stoffer. Det er således muligt at studere nedbrydning under aerobe og anaerobe forhold og dyrke og isolere betydende bakterier.

Institutionens laboratorium for organisk geokemi har mangeårig erfaring i karakterisering af olie/gas, stenkul og biobrændsler. Ekspertisen vil kunne udnyttes såfremt fokus øges på forurening f.eks. med kulbrinte produkter.

GEUS er således vel rustet til studier af kemiske og mikrobiologiske processers betydning for nedbrydning af miljøfremmede stoffer i bred forstand.

Anvendelse af geofysik begrænser sig til brugen af borehullslogging som led i undersøgelser af vandværkernes kildepladser og

forureningsudbredelse i grundvandet. Udstyret er tidssvarende og fuldt udbygget og anvendes i samarbejde med universiteter, højere læreanstalter og private ingeniørfirmaer.

Med hensyn til udvikling af geofysiske kortlægningsmetoder har arbejdet primært foregået ved Århus Universitet og ved DTU. De seneste års aktivitet inden for dette område, især med arbejdet omkring grundvandsbeskyttelse og zoneringsarbejde, må forventes at blive øget.

Der er derfor et behov for en udvidet og mere systematisk bedømmelse af målemetoder og fortolkningsværktøjer, hvor der lægges vægt på et nuanceret udvalg af geologiske problemstillinger og på en videnskabelig dokumentation af metoderne og værktøjerne.

Udviklingen af GIS, databaser og databaseværktøjer er fundamental vigtig for fremtidige opgaver på vandressourceområdet. Det er væsentligt at data indhentet fra traditionelle kilder kan lagres og bruges sammen med data indhentet i forbindelse med f.eks. de kommende års zoneringsarbejde. Data behandles ved hjælp af databaseværktøjerne og med GIS i

forbindelse med egentlig kortlægning og som input til modellering.

Vedligeholdelse af databasen og GIS er derfor centrale for vandressourceområdet, ligesom den basale kvalitetssikring af data er nødvendig for at kortlægning og modeller kan opfattes som pålidelige.

VIDENOPBYGNING

Som del af videnopbygningen om vandressourcens kvalitet, de vandkemiske forhold, indgår undersøgelser af vekselvirkningen mellem forskellige jordarter og grundvand.

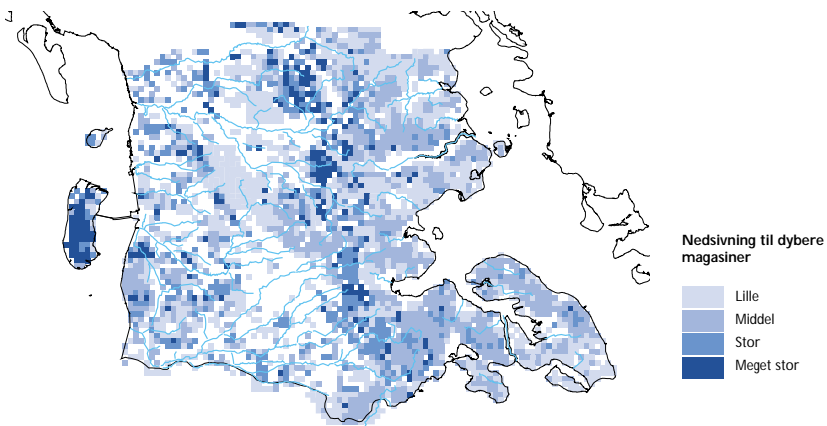
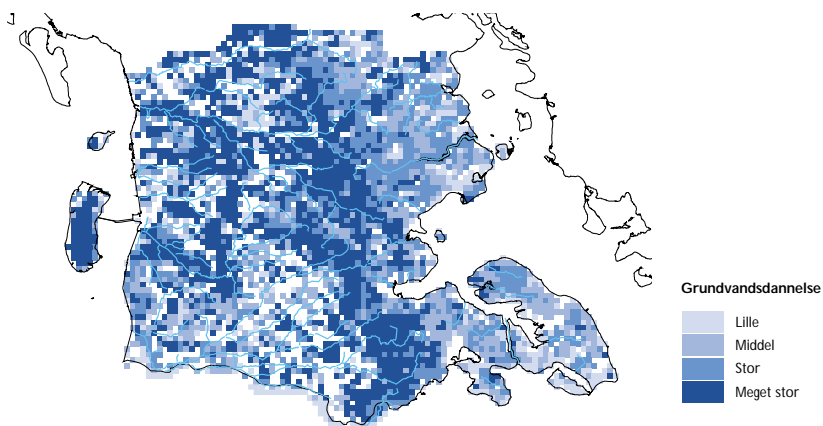
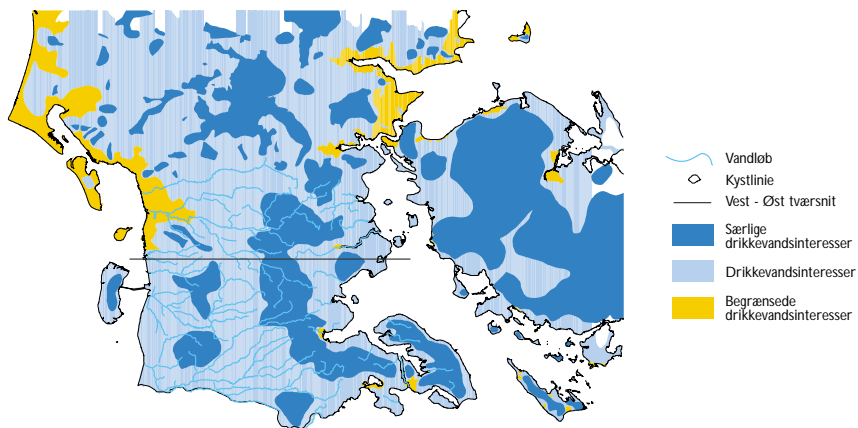
Ved laboratorieundersøgelser bør jordlagenes mineralogiske og geokemiske egenskaber bestemmes. Ligeledes skal undersøgelser i laboratoriet indgå i en vurdering af den naturlige udbredelse af forskellige forureningskomponenter (f.eks. nitrat) samt ved en beskrivelse af procesforløbet mellem den faste (mineralske) og den vandige fase under kontrollerede forhold (bl.a. pH og redox).

Den fremtidige anvendelse af laboratorieundersøgelser skal sikre et meget betydningsfuldt input til forståelsen af vandets kemiske sammensætning, bl.a. indholdet af uorganiske makroioner under forskellige geologiske forhold.

Aldersbestemmelse af grundvand er af stor betydning og er bl.a. med til muliggøre fastlæggelse af strømningsforholdene i undergrunden. Aldersbestemmelse, hovedsagelig ved hjælp af CFC-metoden, vil f.eks. indgå i forskellige overvågningsopgaver ved undersøgelser af pesticiders udbredelse i grundvandszonen og være et væsentligt element i arbejdet med den fremtidige forvaltning af de danske vandressourcer, herunder opstilling og kalibrering af grundvandsmodeller.

Der er fortsat behov for at udvikle og optimere forskellige dateringsmetoder samt afprøve disse over for hinanden, herunder især undersøgelse af redoxforholdenes betydning for CFC-metodens nøjagtighed. Nye dateringsmetoder vil også blive afprøvet under danske forhold. Det drejer sig om tritium med lav detektionsgrænse, helium-3, helium-4, krypton-85, C-14 m.fl..

Fig. 5 Numeriske grundvandsmodeller bruges i et stigende omfang af amterne i forbindelse med detailkortlægning og zonerings. Den Nationale Vandressource Model (DK-modellen) beskriver de hydrologiske processer på stor skala og har til hovedformål at beskrive grundvandsdannelsen og dermed ressourcens størrelse og tidlige og regionale fordeling på landsplan. Modellen kan tilmed bestemme størrelsen af nedsvivningen til grundvandsmagasiner i forskellig dybde. DK-modellen udgør derved en vigtig referenceramme for opstilling af mere detaljerede grundvandsmodeller bl.a. i forbindelse med zonerings. På figuren er øverst vist udpegede drikkevandsområder i Sønderjylland, i midten simuleret grundvandsdannelse til det øvre grundvand og nederst simuleret nedsvivning til dybe magasiner (kote -10). Se vest-øst tværprofil gennem modelområdet på næste figur.



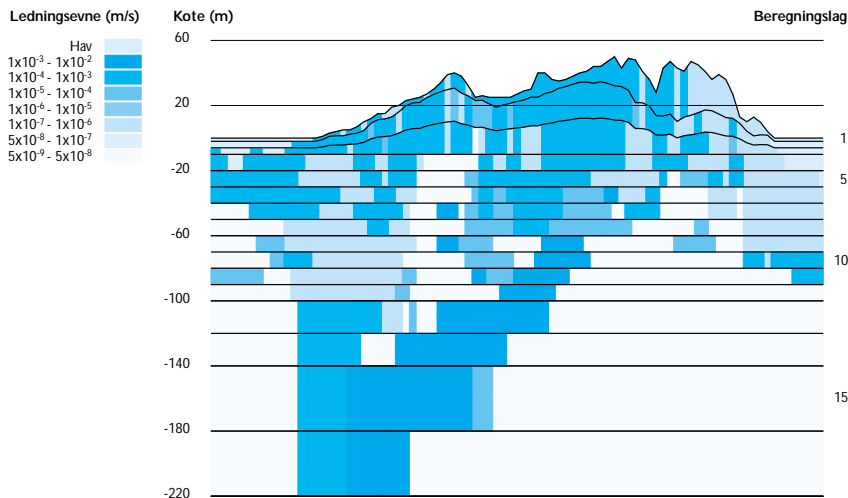
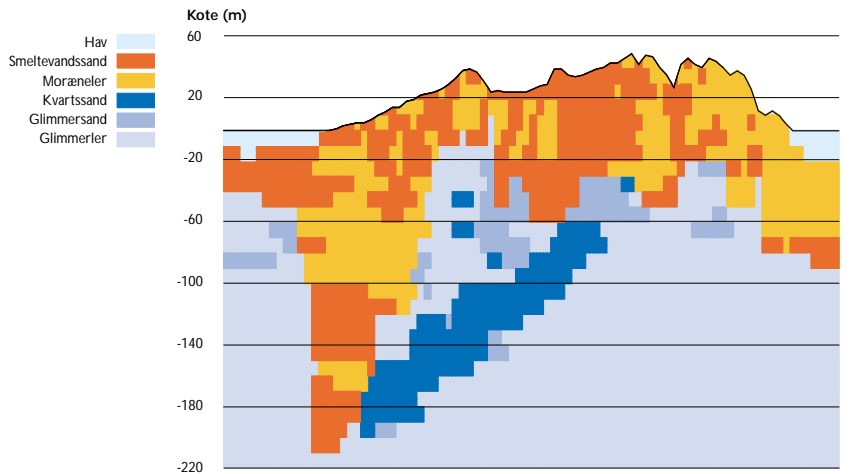


Fig. 6 Numeriske grundvandsmodeller har begrænsninger i deres anvendelse som følge af at de repræsenterer en forenkling af det virkelige fysiske system. DK-modellen for Sønderjylland er opbygget som en 3D grundvandsmodel i MIKE SHE med i alt 16 beregningslag koblet til en MIKE 11-vandløbsmodel. Den hydrogeologiske model er tolket i 10 m dybdeintervaller i et 1 x 1 km netværk i ArcView ud fra borningsoplysninger i Jupiter. For at sikre en metodemæssig stringens og gennemskuelighed i DK-modellen (omkring grundlaget for modelverifikation, -kalibrering, -validering og -anvendelser, herunder ikke mindst om usikkerheder og begrænsninger i modelgyldighed), anvender GEUS inverteret modellering (U-code) til finkalibrering af de enkelte delområder og til vurdering af usikkerheder på de estimerede hydrauliske parametre. Øverst er vist et tværprofil gennem modelområdet (placering se figur 5 øverst) med drikkevandsområder med resultatet af tolkningen af den hydrogeologiske model i 5 hovedtyper. Nederst er vist opdelingen af DK-modellen i 16 beregningslag og beregnet horisontal hydraulisk ledningsevne (vandføringsevne) bestemt ud fra geometri og parametre. Ved den inverse modellering bedømmes hvilke kombinationer af parametre, der giver den bedste overensstemmelse mellem simuleret og observeret trykniveau og flow i grundvandsmodellen, samtidig med at størrelsen af usikkerheder på de udvalgte parametre kan bestemmes.

Anvendelsen af disse metoder har til formål dels at give større sikkerhed med aldersbestemmelse af ungt grundvand (< 50 år), dels at kunne aldersbestemme det noget ældre vand (50 – 35.000 år) og det helt gamle vand (>35.000 år).

En kombineret anvendelse af flere metoder giver i mange situationer mulighed for at påvise blanding af vandtyper og bestemmelse af præferentiel strømning i f.eks. sprækket kalk og moræner og kan desuden bruges ved kontrol af pålideligheden af aldersbestemmelserne. Anvendelse af modelleringsteknikker er helt central for at kunne sætte tal på (kvantificere) vandtransporten i jord, hvilket muliggør en mere kvalificeret rådgivning af vor omverden (offentlige og private instanser).

I forlængelse heraf har miljøministeriet udtrykt forventning om, at GEUS påtager sig rollen som ministeriets videntcenter mht. grundvandsmodellering. Målet er derfor at opbygge og vedligeholde en tilstrækkelig indsigt i de forskellige modeltypers funktion og anvendelsesområde, hvor fokus er på analyse af eksisterende modellers funktionsdygtighed,

parametergrundlag og kalibrering. Denne del skal ske i samarbejde med eksterne partnere.

GEUS benytter primært modeller som fortolkningsværktøjer for at opnå bedre indsigt om sammenhænge og transport i de geologiske systemer. Desuden anvender GEUS modeller i et vist omfang til fremskrivninger af mulige udviklinger.

Generelt har GEUS inden for strømningsmodellering under såvel mættede som umættede forhold den fornødne ekspertise. For at forbedre parameterestimering, herunder mulighederne for at identificere og klassificere hydrauliske enheder, er der en indsats i gang med anvendelse af inverts modellering.

Det tilstræbes også at opnå tilstrækkelig indsigt om grænsefladen mellem umættet og mættet zone; mellem mættet zone og vandløb og om grænsefladen mellem jordoverfladen og atmosfæren (klimamodeller).

Desuden arbejdes der på at få mere viden om 3D strømning i umættet zone og sprækketransport i mættet zone, herunder specielt i kalkbjergarter. For at

kunne foretage mere kvalificerede analyser af transport og spredning af stoffer, herunder brug af partikelbane modeller, arbejdes der på at forbedre den kvantitative beskrivelse af strømningsfeltet som funktion af skalaforholdene.

Med hensyn til de stofspecifikke forhold arbejdes der med en forståelse og beskrivelse af processerne (specielt pesticider), og det tilstræbes at kvantificere og omsætte dette i en modelmæssig sammenhæng. I første omgang vil målet være at kunne foretage en forenklet beskrivelse af det naturlige geokemiske miljø og dets dynamiske udvikling.

Det uorganiske geokemiske miljø, specielt redoxzonerne, er af afgørende betydning for transport og nedbrydning af forurenende stoffer samt for korrektion af dateringsresultater. Anvendelsen af geokemiske modeller bør derfor inddrages som et væsentligt redskab ved bedømmelsen af det uorganiske grundvandsmiljø.

