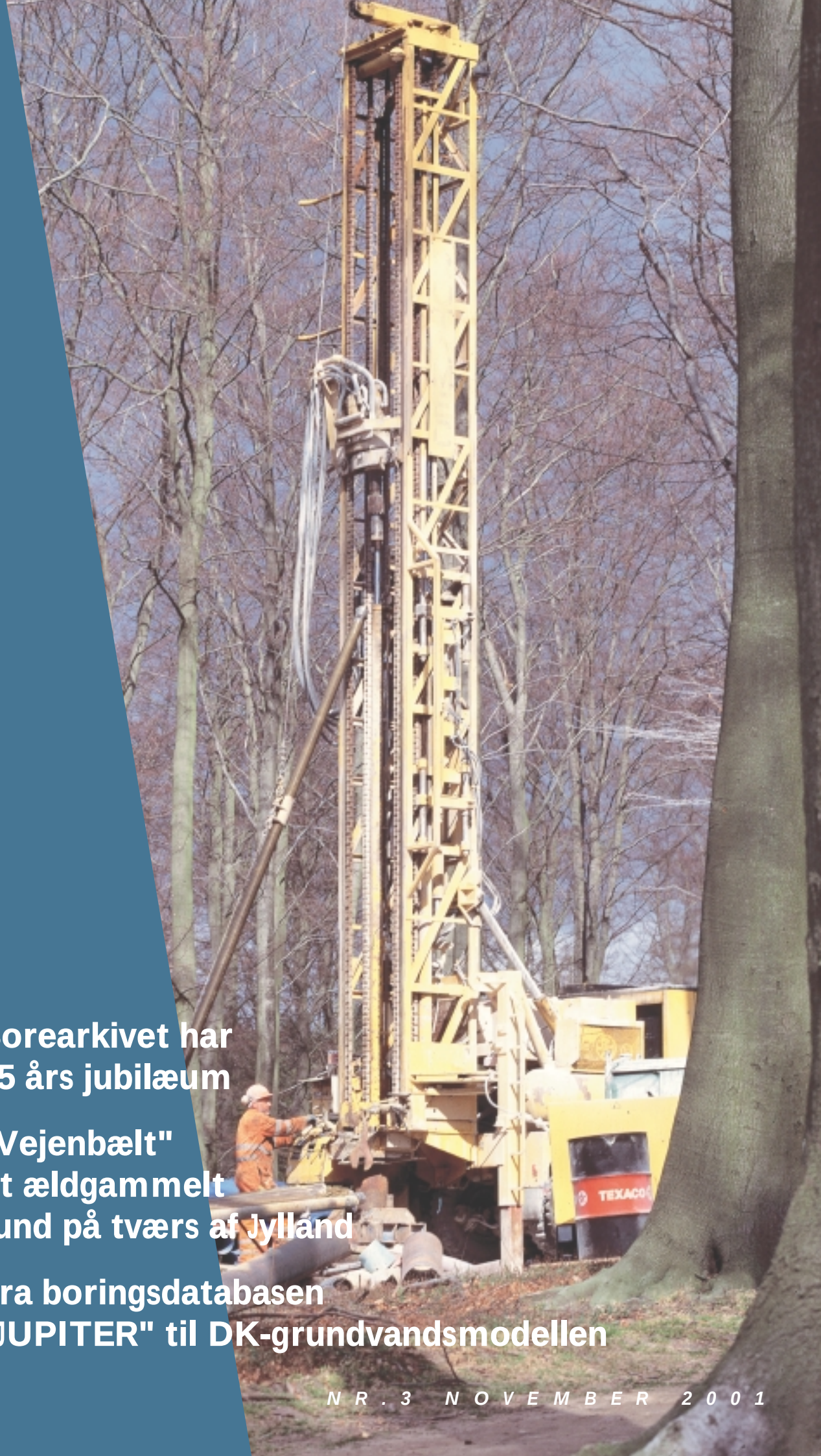


- Borearkivet har 75 års jubilæum
- "Vejenbælt"
Et ældgammelt sund på tværs af Jylland
- Fra boringsdatabasen "JUPITER" til DK-grundvandsmodellen



Borearkivet har 75 års jubilæum



Peter Gravesen

Borearkivets datasamling er enestående både i national og international sammenhæng. Mange geologer og ingeniører fra andre lande er stærkt misundelige på det danske planlægnings og administrationssystem inden for grundvandsområdet og herunder mulighederne for at indsamle oplysninger om borer efter vand og råstoffer baseret på lovgivningen.

Bestemmelser i denne lovgivning har gjort det muligt, at en stor datasamling er blevet oprettet og stadig suppleres med relevante data. Man bliver undertiden spurgt, om der ikke er borer nok. Til det er svaret nej! Der findes kun 7 borer for hver km² i Borearkivet, og de danske grundvandsmagasiner natur er så kompleks, at en tilstrækkelig detaljeret beskrivelse kræver en langt større datadækning.

I Danmark er drikkevandsforsyningen næsten udelukkende baseret på grundvand, og derfor er det en vigtig opgave at fremskaffe rent grundvand i tilstrækkelige mængder. Grundvandet findes i geologiske lag med forskellig beskaffenhed, og viden om de geologiske forhold er væsentlig både i forbindelse med placering af den enkelte boring efter vand og ved planlægning af større områders vandforsyning. Det daværende Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU (fra 1995 GEUS) gik tidligt ind i opgaven med at indsamle oplysninger om vandforsyningsboringer, og med oprettelsen af Borearkivet i 1926 blev grunden lagt til en datasamling, som stadig anvendes af næsten alle der søger efter bl.a. grundvand og i andre geologiske problemstillinger.

Historien

I 1926 vedtog folkettingen "Lov om Vandforsyningsanlæg" (Lov nr. 54 af 31. marts 1926), hvor det i §1 blev bestemt:

"Ved Udførelsen af Boringer, der anbringes i Vandindvindingsøjemed, skal den, der lader Boringen udføre, til Danmarks Geologiske Undersøgelse indsende Meddelelse om Boringens Beliggenhed, de forefundne Jordlag, Vandstanden og Resultatet af afholdte Prøvepumpninger".



Billede fra 1970'erne af borearkivet på Thoravej 33. På hylderne står sorte springbind, der rummer de rentegnede boreprofiler fra vandforsyningsboringer. I skabene opbevares kortene, hvor boringernes beliggenhed er afsat med en prik og med DGU arkivnummer.

Med denne lov ville man sikre, at de oplysninger om grundvandet og de geologiske forhold, som blev tilvejebragt ved borearbejdet, blev bevaret. De indsamlede oplysninger havde ikke blot værdi for grundvandsefterforskning, men også for dansk geologi og ville dermed også i fremtiden være til gavn for samfundet.

En følge af loven blev, at der den 1. oktober 1926 blev oprettet en særlig afdeling på DGU, Borearkivet. Den første opgave var at organisere et arkiveringssystem. Siden oprettelsen af DGU i 1888 og frem til 1926 var der allerede indsamlet oplysninger om en del borer helt tilbage fra omkring 1818; alle disse oplysninger skulle nu sættes i system. Dette arbejde blev ledet af Hilmar Ødum, som også etablerede kontakt til landets brøndborere og vandforsyningsfolk. Hilmar Ødum ledede dette arbejde frem til 1937, hvor han blev DGUs direktør. Han blev afløst af Arne Noe-Nygaard, senere professor i mineralogi ved Københavns Universitet. I 1942 blev han efterfulgt af

Theodor Sorgenfrei, som i særlig grad forbedrede Borearkivets virksomhed; han indførte nye undersøgelsesmetoder, der medførte feltarbejde bl.a. geoelektriske sonderinger af jordlagene i jagten efter grundvand. Theodor Sorgenfrei blev professor i geologi ved Danmarks Tekniske Højskole i 1961, hvor Ole Berthelsen overtog jobbet, som han varetog frem til 1965, hvor han blev DGUs direktør. I 1965 blev Borearkivet delt i to afdelinger: Prækvartær afdelingen og Hydrogeologisk afdeling, og selve arkivet blev placeret i Hydrogeologisk afdeling med Lars Jørgen Andersen, "Fyn", som leder. På grund af de vekslende opgaver, især store kortlægninger hvor boringsdata indgik, blev Borearkivet placeret i skiftende afdelinger. For at oplysningerne i Borearkivet kunne udnyttes bedst muligt i den landsdækkende hydrogeologiske kortlægning blev arkivet i 1975 placeret i den nyoprettede Planlægningsafdeling, senere ændret til Boredataafdelingen med Niels Viggo Jessen som chef.

I 1932 kom en lov om råstoffer i Dan-

marks undergrund, der bestemte at alle dybdeboringer efter salt, olie mv. skulle indberette til DGU og i 1939 fulgte en bekendtgørelse om gasboringer, der også skulle indsendes. Alle boringer indgik i Borearkivet frem til 1965, hvorefter dybdeboringerne overgik til prækvartærafdelingen.

I 1990 blev Borearkivet tilknyttet Kvar-tærgeologisk afdeling og i 1995 flyttet til Geologisk Datacenter hvor alle typer af boringer atter er samlet.

forsyningsloven, som havde betydning for Borearkivet. Indberetningspligten blev ændret, således at det nu blev bestemt at:

"Inden 3 måneder efter udførelsen af en boring efter vand skal den, der forestår udførelsen, til DGU indsende meddelelse om boringens beliggenhed og dens indretning i hovedtræk, de forefundne jordlag, vandstanden og resultatet af afholdte prøvepumpninger samt prøver af de gennemborede jordlag".



Billede fra 1960'erne med to tidligere ledere af borearkivet; Til højre Hilmar Ødum i midten Ole Berthelsen. Til venstre står Knud Højgaard ledende medarbejder i boreprøvelaboratoriet.

Da det i vandforsyningsloven var bestemt, at det var *"den der lader boringen udføre"*, der skulle indberette boringen, lå der et stort arbejde i at gøre befolkningen bekendt med, at der var etableret en afdeling for boringer, hvor man ikke blot indsamlede geologiske data, men også udøvede rådgivende virksomhed i forbindelse med placering af vandforsyningsboringer og vandforsyningsanlæg.

I 1969 skete der en vigtig ændring i Vand-

Nu var det brøndborerne, der skulle sende oplysninger ind, og der skulle også sendes boreprøver.

I Vandforsyningsloven fra 1973 blev det pålagt amterne at udarbejde en vandforsyningsplanlægning, herunder at forestå en hydrogeologisk kortlægning, som Borearkivet fik en stor andel i.

I forbindelse med Vandforsyningsloven fra 1978 blev indberetningspligten udbyg-

med en bekendtgørelse fra 1980 om udførelse af boringer. Her blev det nærmere beskrevet hvilke oplysninger og boreprøver, der skulle indsendes til Borearkivet.

I midten af 1950'erne blev der sat gang i lokaliseringen af alle de boringer, som Borearkivet havde oplysninger om. Lokalisatorer blev sendt ud til de forskellige landsdele, medbringende kort og boringsoplysninger. Det var et langsommeligt, men nødvendigt arbejde for den præcise bestemmelse af boringernes beliggenhed i terrænet. Mange boringer var nemlig kun indberettet med grundejerens navn og adresse. I 1961 (i den Kolde Krigs tid) blev der iværksat en særlig lokaliseringskampagne finansieret af Civilforsvaret for at lokalisere vigtige vandforsyningsboringer, som kunne udsættes for en fjendes angreb. Lokaliseringsarbejdet blev yderligere intensiveret i forbindelse med den hydrogeologiske kortlægning, hvor amterne overtog opgaven.

For råstofboringer har der siden 1. juli 1978 eksisteret en indberetningspligt i lighed med den, der gælder for vandforsyningsboringer. Senere er denne indberetningspligt udbygget i Råstofloven fra 1991. Der er dog også tidligere modtaget råstofboringer efter aftale og ved velvilje fra de firmaer, som har ladet dem udføre.

Samarbejdspartnere

Etableringen af Borearkivets datasamling kunne ikke være sket uden et godt samarbejde med eksterne dataleverandører og brugere. Brøndborerne er de helt centrale i den sammenhæng for uden en forståelse for ånden og bogstavet i indberetningen til Borearkivet fra begge parter, kunne det store arbejde ikke lade sig gøre. Amternes placering i forvaltning af grundvandsressourcerne har gjort dem til vigtige partnere, men også vandværksfolk, rådgivningsfirmaer, ejere af råstofgrave har både givet oplysninger til Borearkivet og modtaget data og gode råd.

Borearkivets indhold

Vandforsyningsboringerne er blevet registreret systematisk i Borearkivet siden 1926, i takt med at de er fremsendt, og samtidig er der foretaget en geologisk beskrivelse af boreprøverne i Boreprøvelaboratoriet. Arkivet har også modtaget råstofboringer ef-

ter aftale og velvilje fra de firmaer, som har ladet dem udføre. Desuden blev der i årene efter 1. verdenskrig og i perioderne 1941-1949 og 1958-1963 foretaget en række systematisk placerede boringer efter brunkul, som også findes i Borearkivet. De geotekniske firmaer har ikke indberetningspligt til Borearkivet men en række firmaer indsender frivilligt borejournaler. Videnskabelige boringer, som indgår i mange undersøgelser, findes også i Borearkivet sammen med boringer, som modtages fra universiteterne. I forbindelse med efter-

forskning af olie-gas i undergrunden er der udført mange boringer (shotholes) sammen med seismiske undersøgelser, som også findes i Borearkivet.

Alt i alt er arkivets materiale vokset støt. I 1951 indeholdt Borearkivet oplysninger om ca. 50.000 boringer, i 1977 lå antallet på omtrent 150.000 boringer, og i 2001 er der ca. 270.000 boringer, dvs. omkring 7 boringer pr. km² i gennemsnit for landet.

Opbevaring af data

Organiseringen af Borearkivets arkiverings-system blev baseret på den eksisterende kortbladsinddeling af Danmark i atlasblade i målforholdet 1:40000, som bestod af 4 målebordsblade i 1:20000. Hvert atlasblad blev forsynet med et internt nummersystem fra 1 – 248 med start i Skagen (nr. 1) og slut på Bornholm (nr. 248).

Efterfølgende kunne alle boringer registreres. Hver boring blev forsynet med et DGU arkiv nr., som består af to tal: nummeret på atlasbladet, hvor boringen ligger, og boringens løbe nr. på det pågældende atlasblad. Dette system er stadig det gældende ved registreringen af boringer i Borearkivet.

Atlasblade og målebordsblade udgik af Kort og Matrikelstyrelsen (tidligere Geodætisk Institut) sortiment omkring 1970, men GEUS har opretholdt atlasbladinddelingen for at undgå at skulle lave nummere-



Billede fra Borearkivet på Thora-vej 8 med to af afdelingens medarbejdere. I baggrunden arkivskabe med hængemapper, hvor originalpapirerne om boringerne opbevares.

ringen om for over 100.000 boringer samt i alle de dokumenter og arkivalier, der refererer til DGU-nummeret. DGU-nummeret indgår også i amternes sagsbehandling.

Borearkivet originaarkiv består af alle indsendte papirer i forbindelse med en borings udførelse som f.eks. borerapport og prøvepumpningsresultater og lokaliseringsskemaer, og derudover findes oplysninger om fx kemianalyser og beskrivelser af boreprøverne.

I begyndelsen af 1970'erne blev den første edb-baserede boringsdatabase udviklet og indlæst. Installeringen fandt endelig sted i 1975 på RECKU (Regionale EDB center ved Københavns Universitet).

Da formålet med indlæsningen i databasen primært var at kunne få udtaget boringerne som cirkeldiagrammer, var det kun udvalgte oplysninger af betydning for udtagningen, der blev indtastet. I løbet af 1970'erne og i starten af 1980'erne blev der indlæst tusinder af boringer i databasen og produceret "Geologiske Basisdatakort" i målforholdet 1:50.000 for 10 af landets 14 amter.

I begyndelsen af 1980'erne blev der udviklet et nyt og mere avanceret database-system, "ZEUS" boringsdatabasen, som fik plads på husets eget edb-anlæg. Denne database kunne rumme samtlige registrerede administrative, tekniske, hydrologiske og geologiske oplysninger. Boringerne i RECKU-basen blev i 1984 overført til ZEUS databa-

sen, men stadig med det reducerede data-indhold.

Fra april 1998 gik GEUS over til et nyt databasesystem, hvor boringsdatabasen blev en del af "JUPITER" databasen. Ved etablering af JUPITER boringsdatabasen blev der i forhold til ZEUS databasen indført betydelige ændringer og udvidelser af oplysningerne på det administrative, tekniske og hydrogeologiske område. GEUS' pejle-database (pejling af grundvandsstand i udvalgte boringer) blev også overført til JUPITER databasen.

I 2000 blev tre databaser om:

1. *Grundvandskemi* (kemiske analyser om grundvandet),
2. *Drikkevand* (kemiske analyser om drikkevandet) og
3. *Vandressourcer* (oplysninger om oppumpede vandmængder), lagt sammen med boringsdatabasen i JUPITER, så det nu er muligt at se alle oplysninger om boringer og grundvand samlet og i sammenhæng.

I 1993-1995 blev der udarbejdet en PC-udgave af boringsdatabasen ZEUS (PC ZEUS), som var en forenklet og forkortet version af ZEUS. PC ZEUS er i 2001 blevet efterfulgt af PC JUPITER, som er en Windows-baseret database, hvor næsten alle oplys-

ninger i boringsdatabasen "JUPITER" kan rummes.

Af de 270.000 borer i Borearkivet er ca. 225.000 borer registreret i boringsdatabasen JUPITER. De indtastede borer fordeler sig på formål procentvis ca. således:

- Vandforsyningsboringer: 51%
- Råstofboringer: 6 %
- Geotekniske borer: 22 %
- Andre: 21 %

Anvendelse af data

Den systematiske indsamling, registrering og bearbejdelse af oplysninger om borerne, herunder den geologiske beskrivelse af de indsendte boreprøver, har etableret og opbygget en omfattende viden om sammensætning, forekomstmåde og alder af de geologiske aflejringer i Danmark. Desuden findes oplysninger om grundvandets og grundvandsmagasinerne forekomstmåde og kvalitet, som kan bruges i både praktiske og videnskabelige sammenhænge.

I forbindelse med hydrogeologisk og geologisk kortlægning er der en lang tradition for at udnytte Borearkivets viden. Ved den landsdækkende hydrogeologiske kortlægning i 1970'erne og 1980'erne blev der fremstillet en række korttyper baseret på Borearkivets data, hvor de Geologiske Basisdata-kort, der viser boringsdata som cirkeldiagrammer, er mest fremtrædende.

I forbindelse med den råstofgeologiske kortlægning i 1980'erne og ved den kvartærgeologiske kortlægning har boringsdata været og er fortsat af central betydning.

Ved konkrete undersøgelser for fx vandværker udnyttes borearkivets faciliteter ligeledes. Ved de store forskningsprojekter: Npo-projekterne og Lossepladsprojektet i 1980'erne og SMP-projekterne i 1990'erne har opbygningen af geologiske modeller været baseret på borearkivdata, og de er stadig det bærende grundlag for de matematiske hydrogeologiske modeller. Det store arbejde med zoner og detailkortlægning af grundvandsressourcen, som udføres i disse år, er også baseret på boringsdata, der især skal samarbejdes med geofysiske data. Ved sagsbehandling i amter og kommuner er anvendelsen iøjefaldende.

Endvidere udnytter GEUS' Konsulent tjeneste oplysningerne i Borearkivet ved besvarelse af spørgsmål fra offentligheden og i sammenhæng med talrige kontakter både i det private erhvervsliv og med offentlige institutioner og myndigheder.

Fremtiden

Borearkivet har levet en omskiftelig tilværelse i institutionen, og har været en del af mange afdelinger. Den er nu endt i afdelingen Geologisk Datacenter. En fast medarbejderstab på 4 personer varetager den daglige registrering af indkomne borer,

op-datering af ældre borer, udarbejdelse af geologiske kort og tværprofiler samt borerapporter.

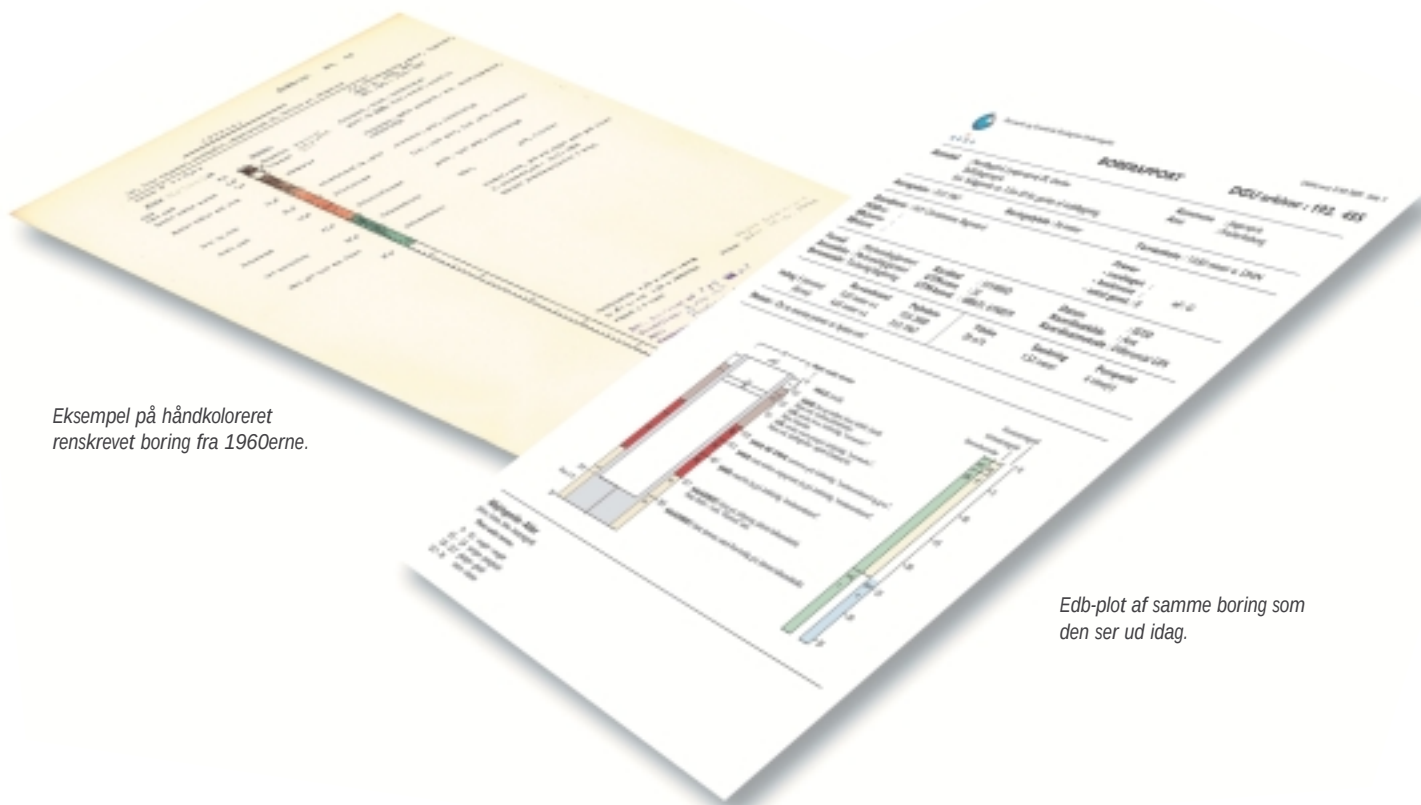
Borearkivet og Konsulenttjenesten har et tæt samarbejde og modtager årligt omkring 1000 telefoniske henvendelser og ca. 50 besøgende til Borearkivet. Alle disse aktiviteter er centrale og vigtige for GEUS og for de mange brugere af boringsdata.

Af nye udfordringer for Borearkivet kan nævnes digital indberetning af boredata og samspil med brøndboreruddannelsen. I forbindelse med den nye vandforsyningslov er der givet mulighed for, at der kan opstilles regler for digital indberetning af data til GEUS. I samarbejde med Miljøstyrelsen er GEUS ved at tilrettelægge, hvordan denne indberetning skal foregå i fremtiden.

Den nye brøndboreruddannelse sigter bl.a. mod et godt samarbejde mellem brøndborerne og GEUS, og der vil fx blive undervist i, hvordan indberetningen til GEUS skal foregå.

Borearkivet vil også i fremtiden være den centrale aktør ved indsamling, registrering, lagring, genfindning og præsentation af boringsdata og alle involverede er rede til at møde de udfordringer som kommer. 

Eksempel på håndkoloreret renskrevet boring fra 1960'erne.



Edb-plot af samme boring som den ser ud idag.

"Vejenbælt" et ældgammelt sund tværs over

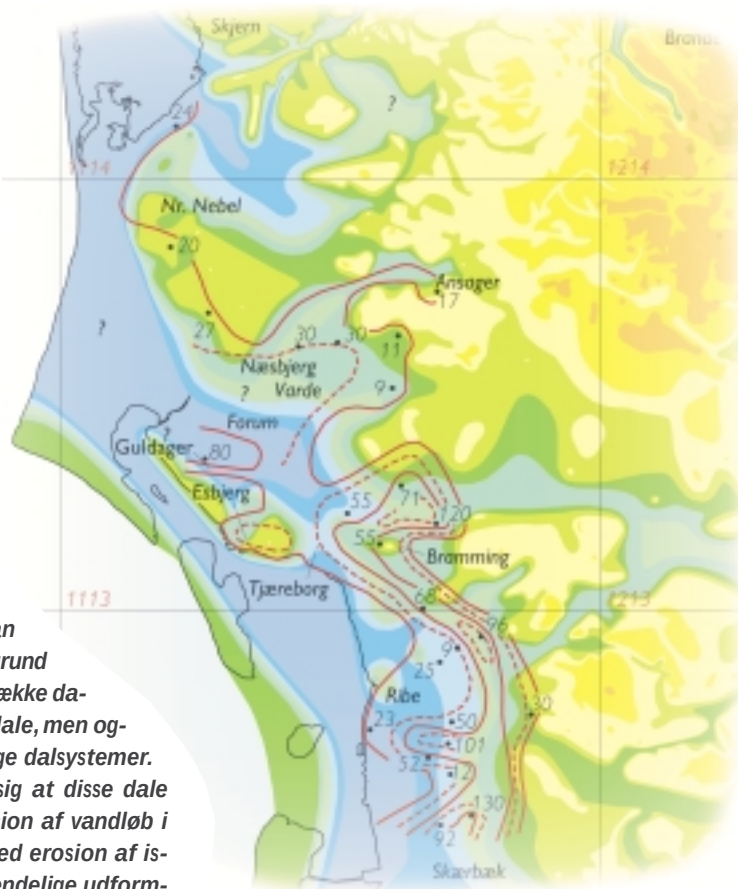


Peter Konradi

I nutiden udgør de danske stræder og farvande Øresund, Storebælt og Lillebælt forbindelsen mellem Østersøen og vedenshavene i skikkelse af Nordsøen. Men sådan som Danmark ser ud i dag har landet imidlertid ikke altid set ud i tidligere tider. På kortet over højdeforholdene i overfladen af Danmarks undergrund før istiden kan man se at Jyllands undergrund er gennemskåret af en række dale. Der er både mindre dale, men også nogle store og kraftige dalsystemer. Geologerne forestiller sig at disse dale er dannet dels ved erosion af vandløb i tiden før istiden, dels ved erosion af istidens gletschere. Den endelige udformning af dalene er foretaget af smeltvand, da isen ved afslutningen af sidste istid smeltede bort. Størstedelen af dalene er senere opfyldt hovedsagelig af aflejringer fra istiden, mest af smeltvandsmaterialer, men også af gletscherens afsætninger i form af moræneler. På denne måde er flere af disse dale næppe til at erkende som dale i nutidens landskaber.



Figur 1. Mikrofotografi af foraminiferer fra gamle havaflejringer truffet i vandforsyningsboringer.



Figur 2. Udsnit af kortet over højdeforholdene i overfladen af Danmarks undergrund før istiden med angivelse af udbredelse af Holstein tidens hav i det sydvestlige Jylland. Tykkelsen af afsætninger fra dette hav er vist med udvalgte borer og kurver med afstanden 30 meter (efter Jens Bruun-Petersen, DGF-årsskrift 1986, p. 40).

I GEUS Boreprøvelaboratorium beskrives jordprøver, der stammer fra vandforsyningsboringer. I mange af de borer der er udført i det sydvestlige Jylland, bliver der fundet skaller af muslinger og snegle, som har levet i havet. Dette viser at prøverne stammer fra aflejringer, der er afsat i et hav. Ved analyser af prøvernes indhold af de mikrofossiler, som hedder foraminiferer, kan det påvises at de fleste af prøverne stammer fra den samme aflejningsenhed. Analyserne viser endvidere at den nedre del af denne enhed er aflejret under kolde miljøforhold, samt af en øvre del, er afsat under miljøforhold, som svarer til de forhold, der hersker i Nordsøen i dag. Aflejringerne er således for den nedre dels vedkommende bestemt til at være afsat i slutningen af en istid, mens den øvre del er afsat under den næstsiddende mellemistid. Det er den geologiske tid som geologerne kalder Holstein mellemistiden, hvor der herskede klimaforhold der minder om dem vi har i dag. Det ser

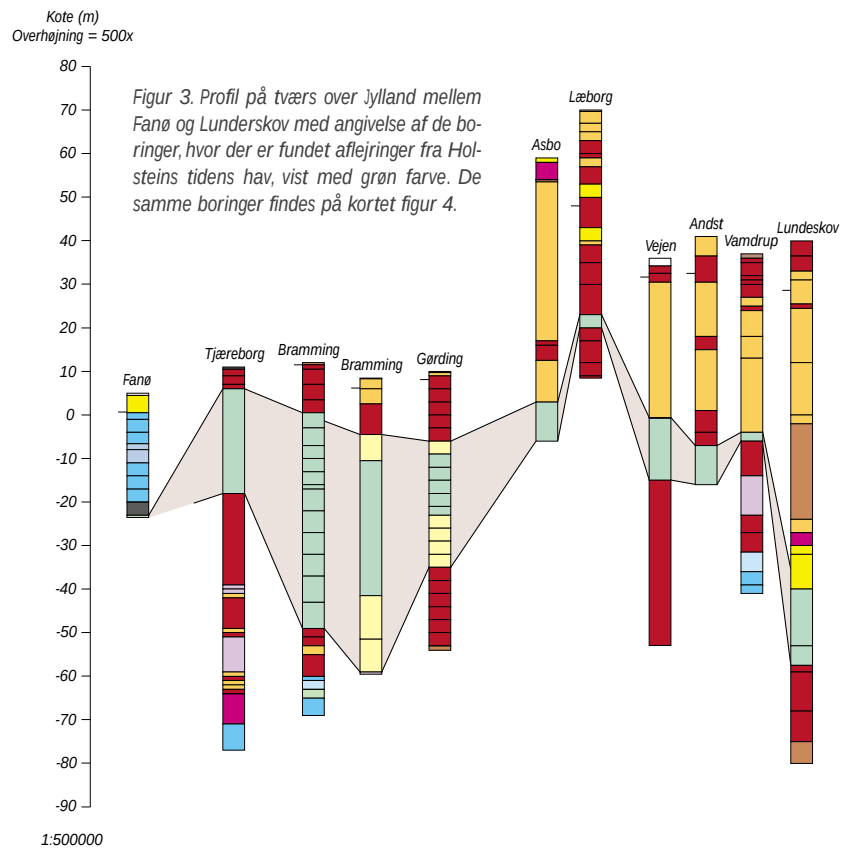
således ud til at Nordsøen for ca. 225.000 år siden i Holstein tiden havde en bugt der strakte sig ind over den vestlige del af Sydjylland i området mellem Ribe og Varde (figur 2). I en række borer i området mellem Esbjerg og Kolding er der fundet lerlag som også indeholder skaller af muslinger, som lever i havet. Analyser af indholdet af foraminiferer i prøver fra disse lerlag viser at også disse lag er afsat i Holstein tiden (figur 1). Sammensætningen af foraminifer selskaberne i disse lerlag svarer ganske godt til de selskaber, der forekommer i aflejringerne fra Holstein tidens havbugt i det vestlige



Jylland

Sydjylland. Der findes både foraminifer selskaber der er afsat under kolde miljøforhold og selskaber afsat under mildere forhold. Det ser således ud til at Holstein tidens hav har strakt sig fra den omtalte Nord-søbugt i det sydvestlige Jylland i retning mod øst i hvert fald helt til Lunderskov -Vamdrup området. Sandsynligvis har dette hav strakt sig videre til Fyn hvor der er fundet tilsvarende aflejringer i borerne på nordvest Fyn, Nordfyn og det centrale Fyn. Der er også truffet aflejringer som viser at der i Holstein tiden fandtes et hav i Østersø området.

Ved at sammenligne med kortet over overfladen af undergrunden kan det ses at disse boreriger med havaflejringer alle findes i den dal i undergrunden, som findes dels i det vestlige Sydjylland, dels strækker sig på tværs af Jylland mellem Bramming og Kolding. Andre undersøgelser har vist at der fandtes et hav i Kattegatområdet i Holstein tiden. Derfor er det nærliggende at drage den konklusion at der fandtes et sund på tværs af Jylland i Holstein tiden. Dette sund forbandt Holstein tidens hav i

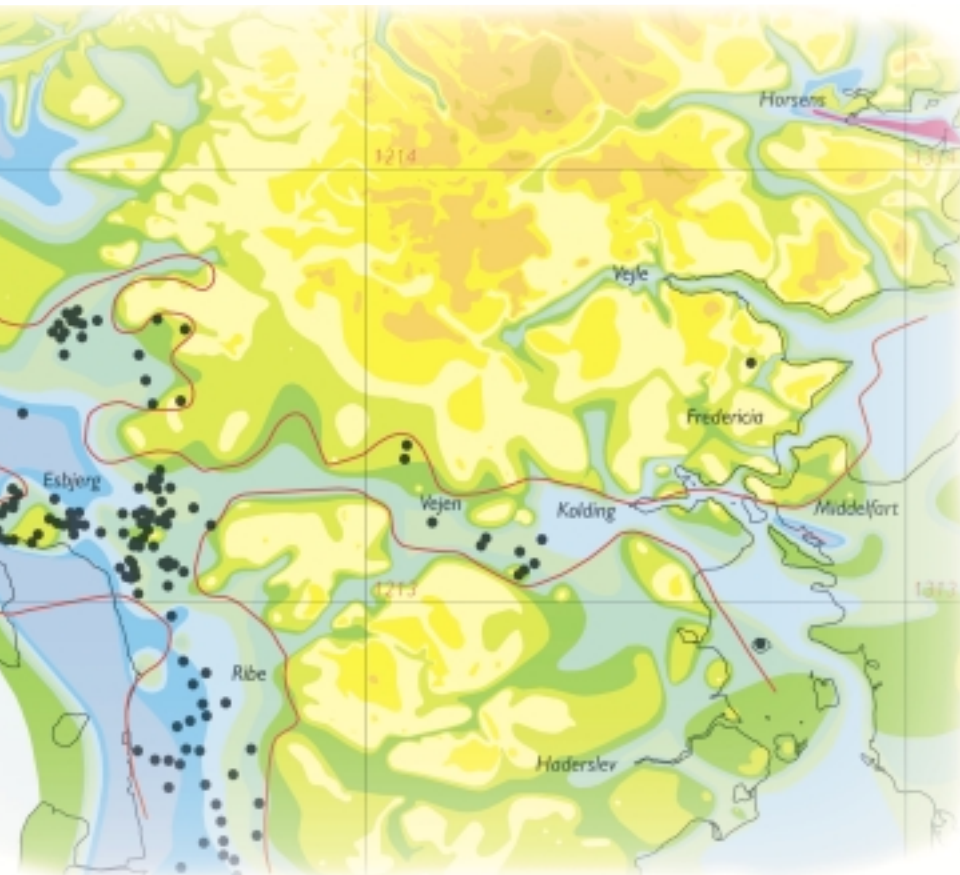


Østersøen og Kattegat med Holstein havet i Nordsøen.

I Holstein mellemistiden har klimaforholdene mindet om de der hersker i dag.

Hvis man forestiller sig at sejle en tur på dette sund må det have svaret til at sejle i de indre danske farvande i dag med lavvandede bugter og småøer og holme, ligesom Limfjorden, der i nutiden forbinder Kattegat med Vesterhavet gennem smalle løb og bredninger. Landskabet har dog været betydeligt mere skovbevokset end i dag og der fandtes ingen dyrkede marker. Skovene har været mere åbne end i dag præget af fyrretræer og lidt gran med plads til den lyskrævende enebær, samt elletræer i fugtige lavninger. Som noget karakteristisk fandtes en del taks, kristtorn og buksbom, der tyder på milde vintre uden hård frost.

I lighed med de bæltter der i dag forbin-
der Østersøen med Kattegat kunne man
kalde sundet for Vejenbælt.



Figur 4. Udsnit af kortet over højdeforholdene i overfladen af Danmarks undergrund før istiden med forslag til Holstein havet mulige udbredelse. En række af borerne i Nordsøbugten er angivet ligesom boreprofilerne i Vejenbælt som er vist på figur 3.

Fra boringsdatabasen "JUPITER" til DK-grund



Hans Jørgen Henriksen

Danmarks forsyningssituation med ferskvand er enestående, den er baseret på grundvand med hele 99%. Vi har i Danmark en decentral forsyningsstruktur, med ca. 3000 vandværker og knap 100.000 enkeltboringer. Det grundlæggende princip er, at vandet skal kunne pumpes ud til forbrugerne uden nogen videre form for avanceret rensning. Den samlede vandindvinding udgør i dag ca. 0.7 km³/år eller omtrent 700 milliarder liter ferskvand (16 mm/år hvis vi fordeler det jævnt ud over hele landet). Heraf går godt 1/3 til husholdninger; industri og institutioner forbruger knap 1/3 og markvanding den sidste 1/3; sidstnævnte dog med stor variation fra år til år, afhængigt af den aktuelle nedbør.

Det regner tit i Danmark. I Sydvestjylland ca. 1000 mm pr. år, på øerne ca. 600 mm pr. år, altså svarende til en meget større vandmængde, end vi henter op til drikkevandsformål fra undergrunden. Det kan udfra disse tal umiddelbart være svært at forstå, at vi ikke skulle have rigeligt med vand, til at

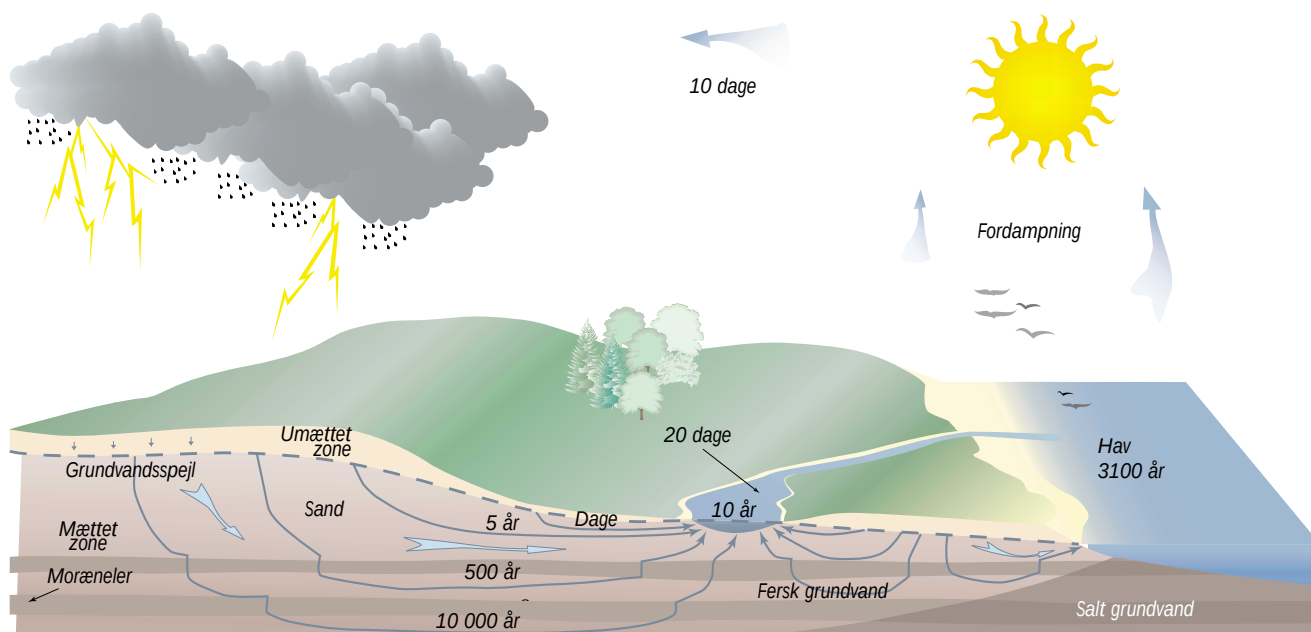
dække vore egne og vore børnebørns behov for rent drikkevand. Ikke desto mindre har vi allerede i dag problemer med "vand nok" i en række områder. Vi har blot endnu ikke erkendt, at det forholder sig sådan. Grunden til at vi er havnet i denne ressource knaphed, vil blive illustreret med en metafor: "en 3-trins løfteraket".

1. trin i løfteraketten og tab af ressource skydes af i forbindelse med at en væsentlig del af nedbøren "forsvinder op i den blå luft", som fordampning fra vegetation og overflader. Data fra pejlestationer tyder tilmed på, at fordampningen som følge af vandmiljøplanen og vinterafgrøder, kan være stigende. I hvert fald falder grundvandsspejlet fortsat selvom nedbøren er stigende. Den restmængde, der herefter er til rådighed, når fordampningen er trukket fra nedbøren, kalder hydrologerne for "nettonedbør". I Sydvestjylland bliver 1000 mm nedbør derved reduceret til 400-500 mm netto-nedbør, og på Øerne bliver 600 mm nedbør reduceret til ca. 200-300 mm nettonedbør.

2. trin i 3-trins raketten og tab af ressource skal tilskrives den væsentlige afstrømning fra sekundære magasiner, dræn og vandløb, dvs. vand der nok siver ned fra

rodzonen til det øverste grundvand, men næsten ligeså hurtigt igen afstrømmer til overfladevand, på grund af fysikkens og matematikkens love. Det er kort fortalt for besværligt for vandet at tage den længere vej nedad til fornyelse af de dybere beliggende grundvandsmagasiners vandmængder. Fornyelsen af de primære magasiner i Sydvestjylland udgør således kun ca. 100-200 mm pr. år, mens fornyelsen på Øerne udgør ca. 20-50 mm pr. år. Det vil sige, at fornyelsen og dermed den maksimalt udnyttelige drikkevandsressource, kun er mellem 3 og 20% af nedbøren.

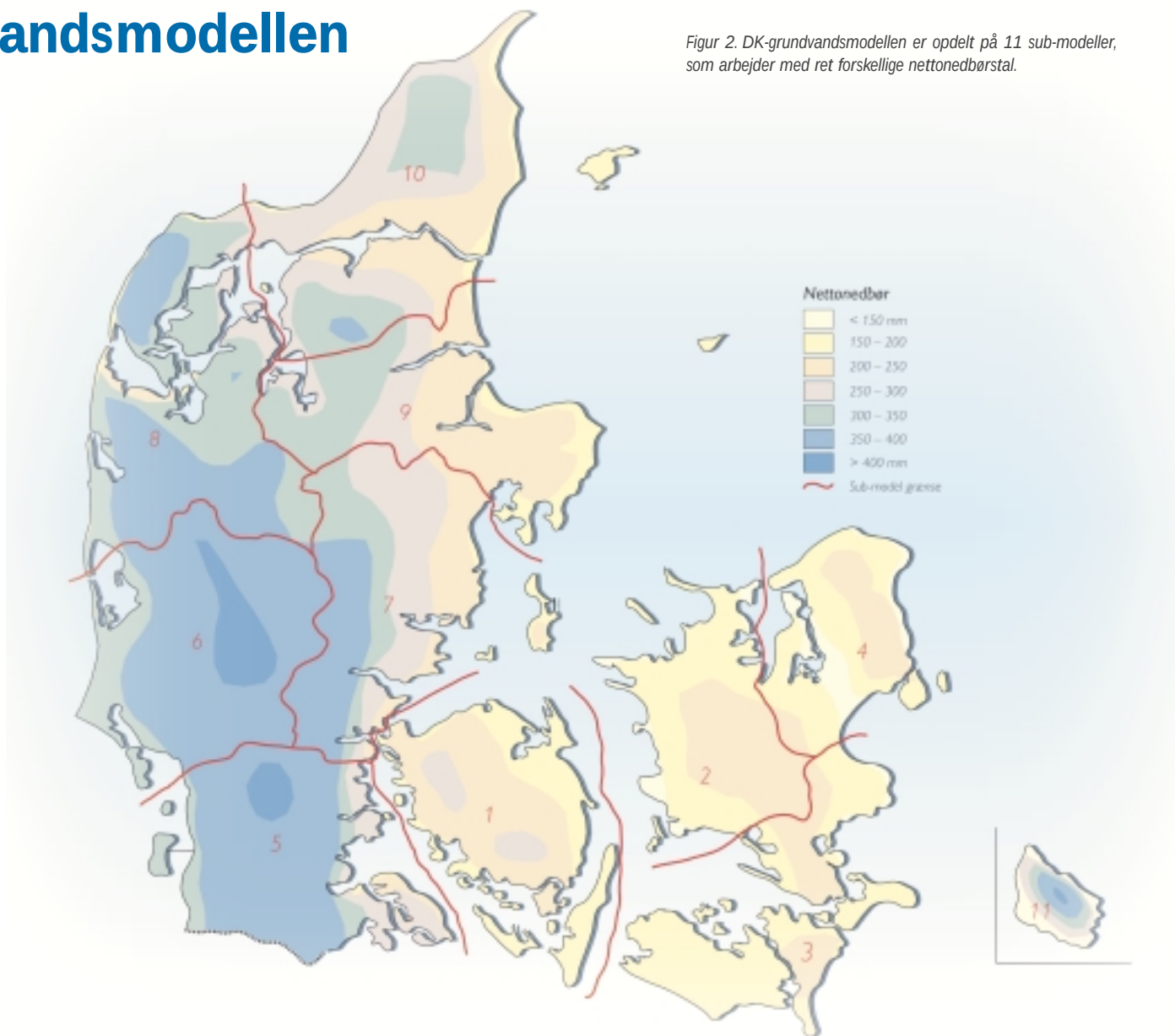
Mange steder på øerne og i Østjylland oppumper vi i dag en vandmængde af samme størrelsesorden som fornyelsen. Allerede efter afskydning af 2. trin i raketten kan vi i en del områder iagttagende (fx der hvor København henter sit vand), at vandindvinding allerede i dag giver anledning til en reduktion af vandføringen og dermed kvaliteten i det vandige miljø og de tilknyttede levevilkår. Denne påvirkning er et direkte resultat af den intensive oppumpning og en deraf faldende grundvandsstand (visse steder mere end 10 m), som medfører udtørring af de øverste spidser af vand-



Figur 1. Det vand vi i dag henter op, er måske til dels infiltreret i jorden i stenalderen, middelalderen, renæssancen og i oplysningstiden.

vandsmodellen

Figur 2. DK-grundvandsmodellen er opdelt på 11 sub-modeller, som arbejder med ret forskellige nettonedbørstal.



løbene, og en generel reduktion af grundvandsstrømningen til vandløb.

3. trin i løfteraketten, som medfører endnu et ressourcetab, er den konstaterede forurening af grundvandsressourcen med nitrat, pesticider og andre miljøfremmede stoffer, som vi endnu knap har set eller forstået den fulde konsekvens af. Vi kan jo ikke indregne den del af "fornyelsen", som er forurenet på et niveau over de fastsatte grænseværdier. I dag bliver Danmarks grundvandsressource primært hentet op fra dybere magasiner med en meget betydelig opholdstid. Det vand vi i dag henter op, er måske til dels infiltreret i jorden i stenalderen, middelalderen, renæssancen og i oplysningstiden. Kun en brøkdel af det dybe grundvand, er dannet i perioden efter 2. verdenskrig og kun denne lille del bærer derfor

spor af moderne aktiviteter og belastninger, fra punkt- og fladekilder.

Det øverste grundvand er allerede i dag forurenet med nitrat, pesticider og andre miljøfremmede stoffer. Måske kan helt op til 40 % af det øverste grundvand ikke umiddelbart anvendes, fordi det overskrider grænseværdierne for det tilladte indhold af miljøfremmede stoffer.

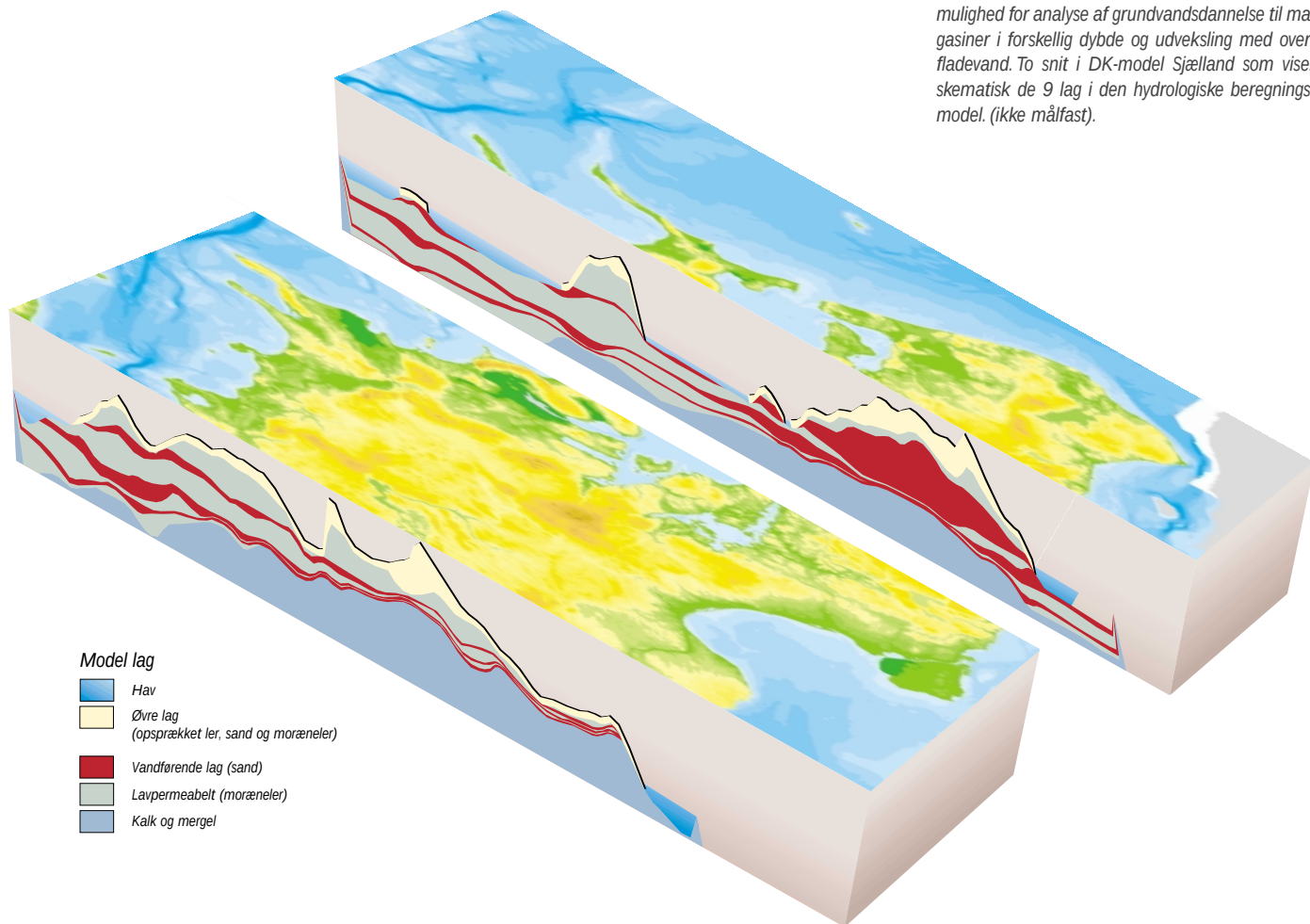
Betydningen af denne forurening af de øvre grundvandsmagasiner og på længere sigt af de dybere magasiner, som vi i fremtiden skal indvinde fra, er en særdeles relevant problemstilling, som fortjener vores fulde opmærksomhed.

Kombinationen af det voksende behov for vand til afgrøder, fordampning, voksende krav til minimums vandføring i vandløbene og den fortsatte forringelse af grund-

vandskvaliteten, har medført et behov for at offentlige myndigheder får en bedre indsigt i den nuværende tilstand og nærmere forståelse for den fremtidige udvikling af grundvandsressorens størrelse. Den tidligere opgørelse foretaget af Vandrådet i 1992, er ikke længere tilstrækkelig, i den nuværende situation.

Genbrug af data og baggrund for et modelsystem

De forsimplede beregninger som Vandrådet foretog indeholdt ikke nogen særlig information om usikkerheden på de skønnede tal og udnyttede ikke direkte de eksisterende landsdækkende databaser, med systematisk registrering af geologiske og hydrologiske borningsdata, indsamlet gennem de seneste 100 år.



Figur 3. Vandressourcemodellen for Sjælland giver mulighed for analyse af grundvandsdannelse til magasiner i forskellig dybde og udveksling med overfladevand. To snit i DK-model Sjælland som viser skematisk de 9 lag i den hydrologiske beregningsmodel. (ikke målfast).

På nuværende tidspunkt rummer borningsdatabase på GEUS informationer om mindst 270.000 borer, af hvilke over 200.000 er arkiveret i den geologiske JUPITER database. Hertil kommer oplysninger om oppumpninger lagret i andre GEUS databaser. Endelig findes forskellige GIS temaer med topografi, vandløb, oplande, jordarts- og arealanvendelseskort i GEUS' databaser.

Alle disse data bliver genbrugt i forbindelse med opstilling af en national vandressourcemodel for hele landet, "DK-modellen". Modellen skal give mulighed for en bedre og mere tidssvarende opgørelse af den udnyttelige grundvandsressource, ved fuld inddragelse af alle tilgængelige geologiske og hydrologiske data, herunder data fra GEUS' pejlestationsnet samt data fra målinger af vandføring i vandløb fra hele landet.

Arbejdet med DK-modellen er finansieret af Miljø- og Energiministeriet over en 5-årig periode (1996-2001) og udført af GEUS i samarbejde med DHI, Institut for Vand og Miljø og Danmarks Miljøundersøgelser.

Formålet med projektet er, at forbedre vores forståelse af de processer der styrer grundvandsdannelsen, at udvikle retningslinier for fastlæggelse af parameterværdier, kalibrering og validering af modellen, og opgøre størrelsen af grundvandsdannelsen for hele landet, inklusive regionale variationer gennem tiden.

Formål som måske lyder lidt flotte, men som ikke desto mindre dækker over den simple kendsgerning, at man ikke kan "måle" grundvandsdannelsen direkte på større skala med kendte teknikker, men i stedet må basere sin opfattelse af grundvandsdan-

nelsens størrelse på en hydrologisk model. Nøjagtigheden af denne model kan man kun bedømme, på baggrund af pejlinger og afstrømningsmålinger, samt evt. aldersbestemmelse og andre "fingeraftryk". Lidt populært kan man måske omskrive Søren Kierkegaards berømte ord:

"Livet skal leves forlæns, men må forstås baglæns", til:

"Grundvandsdannelsen skal vurderes ved hjælp af en hydrologisk model, hvis pålidelighed kun kan forstås ved at vurdere nøjagtigheden af de matematiske simuleringer af modellen på baggrund af sammenligning med målinger af trykniveau, afstrømning og grundvandets alder, som foreligger i bl.a. GEUS' databaser".

Arbejdet med en hydrologisk model er i denne sammenhæng en cyklisk proces som gennemløber faserne: hydrogeologisk tolk-

ningsmodel; modelopstilling; kalibrering, validering og simulering. Endelig er det meget vigtigt hele tiden at gå tilbage i processen, og arbejde videre med den geologiske model, selvom man måske befinder sig på et langt senere trin i processen.

Fra geologisk model til hydrologisk model

I DK-model sammenhæng er Danmark opdelt på 11 delmodeller (se figur 1) og fremgangsmåden, når man går fra den geologiske model til den hydrologiske model kan illustreres for Sjælland. Sjælland er dækket af delmodel 2, 3 og 4 og har et areal på 7330 km². Den overfladenære geologi består af kvartære aflejringer beliggende ovenpå tertiære kalk- og mergelaflejringer. De kvartære aflejringer består af sedimenter med en tykkelse fra få meter til 150 m. De prækvartære aflejringer består overvejende af

Danien kalk i den østlige og nordlige del og Paleocæn mergel og ler i den vestlige del af Sjælland. De geologiske forhold er komplekse, ikke mindst på grund af tektoniske forstyrrelse forårsaget bl.a. af gletscheris, og der er derfor lagt megen vægt på opstilling af en pålidelig geologisk model i 3 dimensioner med udgangspunkt i GEUS' databaser.

De hydrogeologiske enheder og deres rumlige fordeling er fastlagt udfra oplysninger på cirkeldiagramkort, lagenes vandtransportevne samt filterintervaller bestemt udfra boringsdatabasen JUPITER samt al relevant litteratur der findes. Geologisk kompleksitet, er indbygget i form af sand- og tektoniklinser i lerlagene. Den geologiske model for Sjælland består af 11 lag, af vekslende sand, moræneler og kalk aflejringer. De øverste 3 geologiske lag bestående af opsprækket ler, lokale sand- og morænelerslag er slået sammen til et øvre beregningslag (se figur 3).

Med beregningslementer i modellen på 1x1 km (se figur 4), kan der opnås beregningstider på 4-6 timer for simulering af en 10-årig periode. I beregningen findes løsninger af ligningssystemerne med simulering af daglig nettonedbør og vandføring for vandløbssystemerne og månedlig grundvandsstand og grundvandsdannelse til magasiner i forskellig dybde, for grundvandssystemet. Det er nødvendigt at forenkle en række fysiske forhold af stor betydning for grundvandsdannelse og afstrømning, bl.a. topografi, og geologisk forskellighed, dræn- og vandløbssystemer. På trods af denne forenkling, giver DK-modellen mulighed for beskrivelse af de væsentligste processer i vandkredsløbet. (se figur 1).

Som computer program til projektet blev MIKE SHE systemet valgt. MIKE SHE er en videreudvikling af SHE (Système Hydrologique Européen), et sofistikeret hydro-

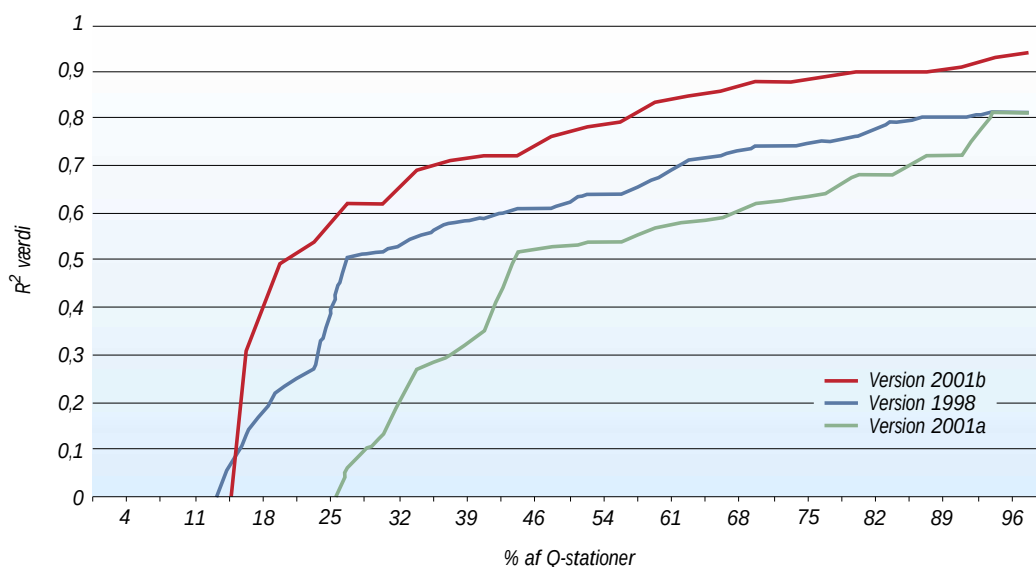


Figur 4. Billede syd for Vig fra Nordvestsjælland med indsat kvadrat.
Foto: Peter Moors (GEUS).

Performance Indikator	Fremragende (5 point)	Særdeles god (4 point)	God (3 point)	Dårlig (2 point)	Meget dårlig (1 point)
RMS	< 4	4–6	6–8	8–10	> 10
R^2	> 0.90	0.80–0.90	0.60–0.80	0.20–0.60	< 0.20
F_{Bal}	< 5%	5–10%	10–20%	20–40%	> 40%
Totalsum:	> 4.5	3.5–4.5	2.5–3.5	1.5–2.5	< 1.5
Pålidelighed	★★★★★	★★★★★	★★★	★★	★

Tabel 1. System til karakterisering af pålidelighed ud fra RMS, R^2 og F_{Bal} .

Figur 5. Resultat af valideringstest for 28 vandforsyningsstationer (R^2). Version 2001b har for en fjerdedel af Q-stationerne en R^2 værdi under 0.6, mens ca. en fjerdedel af stationerne har R^2 værdi > 0.88.



logisk modelsystem som blev udviklet i et Fransk-Dansk-Britisk samarbejde over en 20-årig periode. DHI, Institut for Vand og Miljø, forestår videreudviklingen af MIKE SHE softwaren og har i forbindelse med DK-model projektet udarbejdet dels flere nye moduler (bl.a. en GeoEditor), ligesom funktionalitet og beregningsmetodik, er forbedret på en række punkter. Tre sammenligninger af forskellige kendte hydrologiske modelsystemer har placeret MIKE SHE på en førsteplads, når det gælder modellering af det hydrologiske kredsløb og problemstillinger, hvor det er nødvendigt at foretage detaljerede dynamiske beregninger, for både grundvand og overfladevand.

Betydning af en god geologiske model

I en hydrologisk model kan de hydrauliske parametre, som er fysiske størrelser, der forudsættes at være konstante i tid, fx hydraulisk ledningsevne eller magasintal, opdeles på en af 3 hovedkategorier i vandkredsløbet:

- fordeling i rodzonen af nedbøren mellem fordampning, grundvandsdannelse og afstrømning bl.a. fra befæstede arealer,
- strømning, drænastrømning og udveksling mellem grundvand og vandløb, samt
- overfladenær afstrømning og afstrømning gennem vandløbssystemet.

Det er på basis af feltstudier vurderet, at den hydrauliske ledningsevne for de øverste 1-5 meter moræneler under terrænoverfladen, har en højere ledningsevne, som følge af opsprækning, end det dybere beliggende moræneler.

Hovedprincippet for fastlæggelse af parameterværdier i en hydrologiske model-opstilling, består i at vælge så få frie parametre som muligt og at anvende et gennemskueligt og objektivt princip med konstante (uniforme) værdier i alle geologiske lag bortset fra kalken. At visse parametre er "frie" betyder blot, at man i løbet af kalibreringen kan justere værdien af de frie parametre, indtil der opnås en tilstrækkelig god over-

ensstemmelse med målinger, hvorimod de øvrige parametre tillægges faste værdier ud fra målinger eller litteratur.

En indledende følsomhedsanalyse viste, at de mest følsomme parametre for modellens simulering af trykniveau og afstrømning, var: gennemstrømningen i kalk; vandret ledningsevne for sand; lodret ledningsevne for moræneler; frie magasintal, drænkoefficient og vandløbslækage koefficient.

Valget af konstante parameterværdier for moræneler og sand i alle lag, så vandføringsevnen kun afhænger af tykkelserne af lagene i den geologiske model, giver mulighed for at justere et begrænset antal parametre under kalibreringen, hvilket har vist sig at være en fordel, hvis man skal bibeholde en god nøjagtighed (performance), når man efterfølgende tester modellen under valideringen, mod data som endnu ikke har været benyttet til kalibreringen.

Brugen af automatisk kalibrering (invers

modellering) giver en række muligheder for at få feed-back på om der skal justeres på randbetingelser, geologisk model eller principperne for fordeling af modellens parametre, forud for den ofte tidskrævende og omfattende kalibrering og validering af modellen.

Fra kalibrering til validering af model

Kalibreringsproceduren omfatter både en stationær kalibrering baseret på gennemsnitsværdier af nettonedbør, oppumpning, trykniveau og afstrømning og en efterfølgende dynamisk kalibrering, med inddragelse af tids-serier af nettonedbør, oppumpning, afstrømning og grundvandsstand, hvorved bl.a. hydrauliske ledningsevner og magasintal justeres. Også parametre for lokale sand- og tektoniklinser, samt vandløbslækage koefficienter og dræntidskonstanter justeres i dette forløb. For kalken blev målte gennemstrømnings værdier fra Jupiter databasen på

forhånd anvendt til interpolering af den rumlige variation, men forskellige antagelser vedr. hydrauliske ledningsevne for kalken blev også undersøgt.

Til kalibrering og validering af DK-modellen er anvendt såvel "split-sample" tests som proxy-basin tests. Split-sample tests er en klassisk test, hvor den tilgængelige mængde deles i to, hvorefter der kalibreres på den ene og efterfølgende valideres på den anden. I tilfældet med DK-modellen for Sjælland er der kalibreret på perioden 1988-90 og valideret på perioden 1991-96. Proxy-basin test er en anden valideringstest, hvor kalibrerede parameterværdier for de kvartære aflejringer, for fx Vestsjælland og Sydsjælland, overføres til modellen for Nordøst-sjælland, hvorved det testes hvorvidt resultaterne fortsat er pålidelige.

Undervejs i forløbet anvendes en række forudsætninger eller indikatorer for hvor pålidelig modellen er: R^2 , RMS, og F_{bal} .

Kalibrerede parameterværdier Styrende parameter for grundvandsstrømning

Geologisk lag	Horizontal hydraulisk ledningsevne [m/s]		Vertikal hydraulisk ledningsevne [m/s]		Frit magasintal		Artesisk magasintal
	1998	2001b	1998	2001b	1998	2001b	
Lag 1 (Opsprækket ler)	1×10^{-5} m/s	1.45×10^{-5} m/s	1×10^{-7} m/s	1.45×10^{-7} m/s	0.25	0.06	0.0001
Lag 2, 4, 6, 8 og 10 (Moræneler)	1×10^{-7} m/s	1.9×10^{-8} m/s	1×10^{-9} m/s	1.9×10^{-9} m/s	0.25	0.06	0.0001
Lag 3, 5, 7, og 9 (Sand)	1×10^{-4} m/s	1.35×10^{-4} m/s	1×10^{-5} m/s	1.35×10^{-5} m/s	0.25	0.26	0.0001
Lag 11 (Kalk)	Distribueret	Distribueret	Distribueret	Distribueret	0.25	0.25	0.0001

Styrende parameter for overfladevandsafstrømning

	1998	2001b
Overflade Manning (M) ruhed	2	2
Overflade magasinerings	0.02	0.01
Dræntidskonstant	8×10^{-7}	7×10^{-8}
Vandløbs Manning (M) koefficient	20	20
Vandløbs lækage koefficient (distribueret)	1×10^{-7} and 5×10^{-10}	1×10^{-7} and 5×10^{-10}

Tabel 2. Kalibrerede parameterværdier for modelversion 1998 og 2001b.

		RMS	R ²	F _{Bal}
Vestsjælland	1998	★★	★★★	—
	2001a	★★	★★	★★
	2001b	★★	★★★★★	★★★★★
Nordøstsjælland	1998	★★★★	★★	—
	2001a	★★★★	★★	★
	2001b	★★★★	★★★	★★★
Sydsjælland	1998	★★★	★★★	—
	2001a	★★★	★★	★★
	2001b	★★★	★★★	★★
Hele Sjælland	1998	★★★	★★★	—
	2001a	★★★	★★	★★
	2001b	★★★	★★★★	★★★

Tabel 3. Resultat af valideringstest for modelversion 1998, 2001a og 2001b.

RMS kriteriet giver mulighed for at bedømme den samlede afvigelse mellem simuleret og målt trykniveau ud fra udvalgte pejledata fra Jupiter basen, og observationsdata for de 9 beregningslag. Slutmodellen skal have så lille en RMS værdi som muligt.

R² kriteriet kan afgøre, hvor godt modellen simulerer vandløbsafstrømningen, ved sammenligning med målinger fra 28 stationer. En pålidelig slutmodel skal helst have R² værdien > 0.65.

F_{Bal}, er en særlig vandbalance indikator, som bruges til at vurdere, hvor god overensstemmelsen der er mellem simuleret og målt "vandbalance", bedømt ud fra den samlede gennemsnitlige afstrømning ved en vandføringsmålestation.

Der er opstillet et pointscore system, som vist i tabel 1, som tildeler modellen en score for performance (1-5 "stjerner") for hvert af de 9 beregningslag (RMS) og for hver af de 28 målestationer (R², F_{Bal}), hvorefter en samlet pointsum eller karakter kan udregnes for hver model.

Eksempelvis skal her vises resultaterne for 3 versioner af Sjællandsmodellen:

1. Den originale kalibrerede model fra 1998 baseret på Danmarks JordbrugsForskning (DJF) klimadata (model 1998)
2. En opdateret model fra 2001 baseret på DMI klimadata og yderligere invers kalibrering (model 2001a)
3. En opdateret model fra 2001 baseret på DMI klimadata og yderligere invers kalibrering, men hvor nettonedbøren er multipliceret med 0.77 for at få vandbalancen til at gå op (model 2001b)

Kalibrerede parameterverdier for 1998 og 2001b versionen er vist i tabel 2 og resultater af beregnede R² værdier for 28 vandføringsstationer er vist i figur 5, med rangordnede R² værdier. Resultater af valideringstest for de 3 modelversioner er vist i tabel 3. Det fremgår at version 2001b giver den klart bedste "performance", og tilmed opfylder det på forhånd specificerede "performance" kriterier, som svarer til at modellen for Sjælland generelt kan opnå mindst 3 stjerner for samtlige indikatorer (RMS, R² og F_{Bal}). Derudover kræves det, at de kalibrerede parameterverdier ligger indenfor

de realistiske variationsrammer som på forhånd er fastlagt.

Disse krav er opfyldte for version 2001b, og denne version er derfor anvendelig til simuleringer af grundvandsdannelsen, som grundlag for vurdering af den udnyttelige resources størrelse. Korrektionen af nettonedbøren med en faktor 0.77 har antydnet et betydeligt videnshul, om især fordampningens størrelse i Danmark, som der er behov for at få undersøgt (trin 1 i vores metafor / tretrinsraket). En ny landsdækkende opgørelse forventes at være klar ved udgangen af 2002, og til den tid, kan der ikke forventes meget mere viden om fordampningens størrelse, vi må derfor benytte den lidt grove metodik med korrektion af nettonedbøren, når vi vurderer Danmarks udnyttelige drikkevandsressource, og der vil uden tvivl også kunne påpeges andre usikkerhedsfaktorer, i de øvrige trin (2 og 3) i metaforen, som kan være med til at påpege behov for yderligere undersøgelse og forskning i de kommende år.

Allervigtigst er det måske, at se DK-modellen som en snebold, der efter hvert gen-

nemløb af endnu en modelcyklus via geologisk model, opstilling, kalibrering, validering, og simulering gradvist bliver mere og mere

pålidelig og dermed en bedre referenceramme for beslutninger om behovet for yderligere beskyttelse af grundvandsressourcen og

planlægning af en mere bæredygtig udnyttelse af vort dyrebare drikkevand.



Billede fra Farum Sø. Foto: Peter Moors (GEUS).

Publikation fra GEUS

"Grundvandsovervågning 2001" udkommer 1. december. Det er den 13. årsrapport siden Vandmiljøplanens vedtagelse, og rapporten viser at grundvandets tilstand er stort set uændret siden sidste år.

Grundvandet fra 16-18% af overvågningsboringerne er forurenet med nitrat i en sådan grad at vandet fra disse boringer er uegnet til drikkevand. Tilsvarende er vandet fra 12-14% af boringer i de øverste ca. 50 meter forurenet med pesticider over grænseværdien for drikkevand.

Miljøstyrelsen er ved at indføre EUs drikkevandsdirektiv i dansk lovgivning. Det vil fx betyde væsentligt sænkede grænseværdier for bl.a. nikkel og arsen. Hvis disse grænseværdier bliver vedta-



get, hvad der må forventes, vil indholdet i vandet fra 11-16% af overvågningsboringerne være over de nye grænseværdier for drikkevand.

Det skønnes at omkring 30% af det øvre grundvand, er uegnet til drikkevand og det har ikke mindst betydning for alle de der drikker vand fra egen brønd eller kort boring.

Modsat de senere år er der sket en stabilisering eller en svag stigning i vandforbruget, til såvel drikkevand og industriel brug som til markvanding. Men grundvandsstanden er fortsat ret høj.

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.

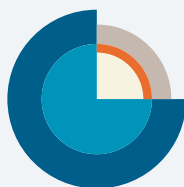
Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS

Er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

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.: 63 44 16 83 eller telefax: 63 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: Peter Moors.

Illustrationer: Annabeth Andersen.