

Hydrologiske modeller og grundvandskortlægning

Kunsten at forstå hvad vi ikke kan se. Hvordan bliver vi klogere ved hjælp af modeller og hvordan bliver modellerne bedre af vores viden?

DIRK-I. MÜLLER-WOHLFEIL, ANKER LAJER HØJBERG & KURT MØLLER

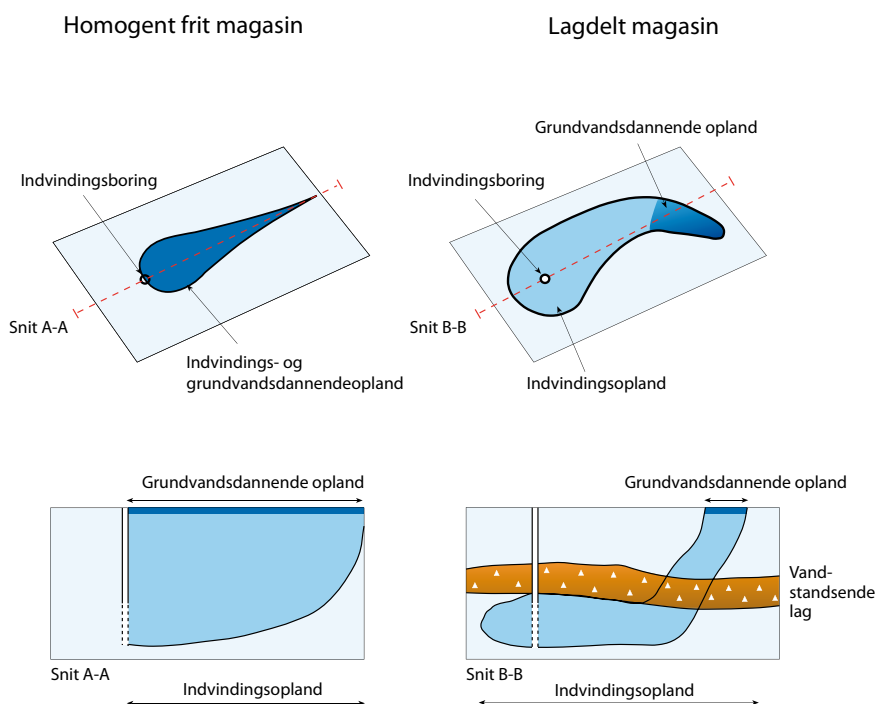
Hydrologisk modellering er en integreret del af grundvandskortlægningen, og de mange opgaver har været med til at drive udviklingen og kvaliteten af hydrologisk modellering nationalt.

Udvikling og videndeling af hydrologisk modellering inden for kortlægningen

Kortlægningens start i 1999 var på mange måder præget af, at det var de enkelte amter der stod for opgaveløsningen. Amtets grundvandskortlæggere etablerede i en tidlig fase en ERFA gruppe om hydrologisk modellering, hvor samtlige amter og GEUS var repræsenteret. Der var stor vilje til at lære af hinanden. Mulighederne var imidlertid for begrænsede til, at der kunne etableres en ensrettet metodik på tværs af amterne, som havde hver deres opfattelse og tradition i forhold til grundvandsbeskyttelse.

De første år var der stor fokus på at øge ekspertisen, både hos amternes kortlæggere og ved at inddrage så mange rådgivende firmaer som muligt i opgaveløsningen. Hydrologisk afdeling ved GEUS blev bedt om at udvikle og afholde både grundlæggende og videregående modelleringskurser, der henvendte sig til såvel amtsmedarbejdere, som til eksperter i rådgivende firmaer, vandforsyninger og kommuner. I 2005 blev "håndbog i grundvandsmodellering" /1/ udgivet i forbindelse med afholdelse af de grundlæggende kurser.

I forbindelse med strukturreformen og overdragelse af kortlægningsopgaven til staten i 2007 blev samarbejdet mellem de centrale enheder – de nyoprettede 7 miljøcentre, nu Naturstyrelsen Ålborg intensiveret. ERFA



Figur 1. Definition af indvindingsopland og infiltrationsområde /1/. Figureerne til venstre viser situationen for et vestjysk sandområde uden gennemgående lerlag (boringen er filtersat i et begrænset interval, og indvindingen er i dette tilfælde begrænset). Figureerne til højre viser situationen for et tolags magasinsystem.

gruppen fik et kommissorium, blev senere til en arbejdsgruppe og eksisterer i dag som en ekspertgruppe af medarbejdere fra Naturstyrelsen, dog uden at de grundlæggende principper og målsætninger i de senere år har ændret sig. Medarbejderne i de respektive grupper har også varetaget kortlægningsprojektets interesser, ved at være tilknyttet følgegrupper og styregrupper i nationale forskningsprojekter, senest HYACINTS projektet /2/, som handlede om udvikling af metoder til konsekvensvurderinger af klimaændringers effekt på vandressourcen.

Opsamling af viden i vejledninger

ERFA gruppen har efter 2007 taget initiativ til

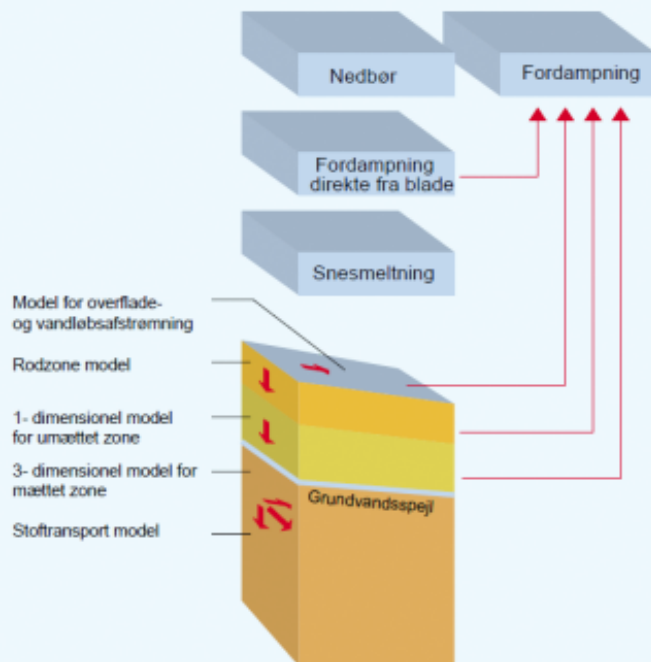
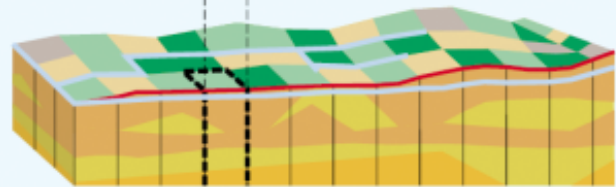
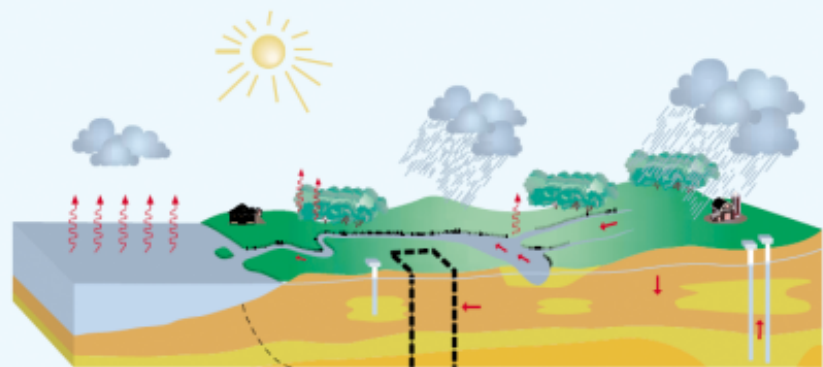
udarbejdelse af hydrologiske vejledninger, som er skrevet af medarbejdere fra miljøministeriet og GEUS i fællesskab, med bidrag fra rådgivende ingeniører. Vejledningerne har fokus på de faglige og administrative opgaver og skal sikre nogle ensartede principper for den hydrologiske modellering i forbindelse med kortlægningen f.eks. i forhold til udpegn af indvindingsoplande. Sidste skud på stammen er en vejledning om god praksis i hydrologisk modellering /3/. Vejledningen tager i endnu højere grad udgangspunkt i de specifikke udfordringer for kortlægningen, bl.a. at modelopgaverne bør indgå som en integreret del af opgaveløsningen. Desuden bør relevante aktører involveres (statens kortlæg-

Den hydrologiske model

En hydrologisk model er en matematisk beskrivelse af vandets kredsløb. Modellen kan opstilles som en grundvandsmodel, der kun beskriver strømning i de forskellige jordlag (se figur), eller som en integreret overflade-grundvandsmodel, der også beskriver strømningen i overfladevandet (vandløb, søer mv.) samt interaktionen mellem de to medier.

Det vigtigste grundlag for beskrivelsen af strømninger i undergrunden er den geologiske model og tal for nedbør og fordampning. Til hver geologisk enhed er der tilknyttet parametre, der karakteriserer jordens strømningsegenskaber. Eksempelvis gives sandlag højere talværdier (permeabilitet) for vandets evne til at strømme igennem mediet end lerlag. I praksis er en hydrologisk model et computerprogram (en numerisk model), hvor området opdeles i beregningsenheder, f.eks. opdeles undergrunden i modelceller, hvis udformning bedst muligt tilpasses strukturerne i den geologiske model. I computer programmet udføres og sammenkædes alle de beregninger, der tilsammen beskriver vandets strømnings- og opmagasineringsforhold, 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 vejrprognoser.



Kilde: Århus Amtskommune.

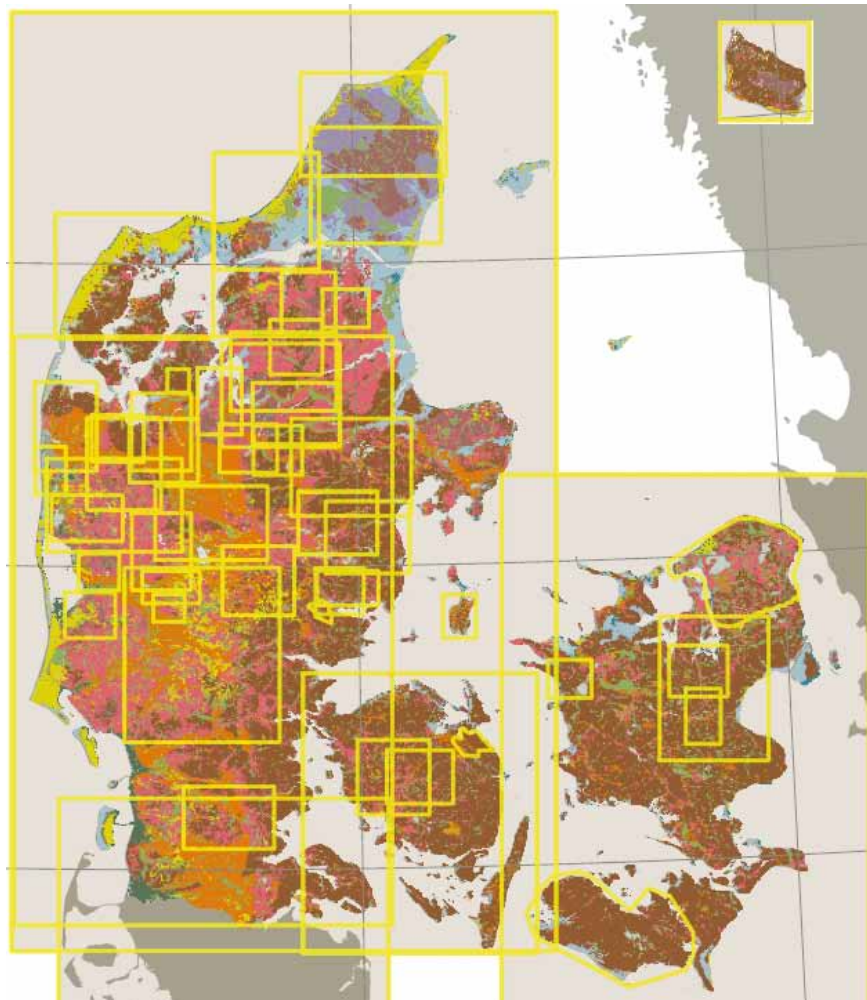
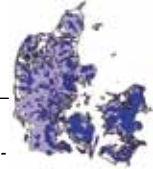
gere, modellører hos de rådgivende firmaer og interessenterne, og især kommunerne). Endvidere fokuserer vejledningen på håndtering af modelusikkerheder og kvalitetssikring gennem en tilknytning af eksterne reviews af modelleringsarbejdet.

Hydrologi og anvendelse af modeller i kortlægningen

Vurderingen af grundvandsmagasinernes sårbarhed forudsætter en grundlæggende forståelse af det hydrologiske kredsløb i kortlægningsområdet. Grundvandsmagasiner i områder med større grundvandsdannelse

vurderes eksempelvis som udgangspunkt at være mere sårbar overfor forurening end områder med mindre grundvandsdannelse /4/.

Sårbare områder skal vurderes indenfor Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD) samt i indvindingsoplande udenfor OSD. Der er derfor behov for en robust af-



Figur 2. Oversigt over modeller indlæst i modeldatabase (www.geus.dk/modeldb)

grænsning af indvindingsoplande (se fig. 1). En detaljeret kortlægning af de hydrogeologiske forhold og grundvandsdannelsen i et kortlægningsområde er dermed en væsentlig forudsætning for udarbejdelse af en indsatsplan for grundvandsbeskyttelse i kommunerne. Desuden har regionerne behov for kort, der viser grundvandspotentialer, som anvendes i forbindelse med forureningsundersøgelser og ved risikovurdering i forhold til truslen fra de grundvandstruende forureninger.

Det er ikke alene vandmængder og strømningsveje, de hydrologiske undersøgelser skal give os oplysninger om. Den gennemsnitlige alder af vandet i en indvinding, der er et resultat af hvor langt fra indvindingen vandet stammer fra, og hvilke jordlag det gennemstrømmer, skal endvidere estimeres. Dette bruges dels som administrativt kriterium til afgrænsningen af indvindingsoplandene, hvor der kun indgår vand, som højst er 200 år gammelt, og dels som vigtig information til vurderingen af grundvands kemiske tilstand. Det er primært det yngre grundvand, dannet gennem de sidste 50-60 år, der kan

være forurenet af menneskelige aktiviteter. Derimod er der større risiko for, at ældre vand indeholder uønskede sporelementer fra jord- og bjergarter. Alderen bruges desuden i kortlægningssammenhæng til vurdering af såvel transporttid gennem dæklag, som af opholdstider i grundvandsmagasiner, der ligeledes indgår i den samlede sårbarhedsvurdering.

Hvorfor bruger vi modeller?

Grundvands strømning gennem undergrunden kan ikke observeres direkte og der er derfor behov for indirekte metoder til vurdering af strømningsforholdene. En simpel metode hertil baserer sig på observationer af grundvandsstanden i borer, ud fra hvilke der kan kontureres et kort over potentialeforholdene /5/. På basis af disse kort er det muligt at vurdere den sandsynlige udbredelse af et indvindingsopland ved at anvende analytiske beregningsmetoder /6/. Metoden har imidlertid sine begrænsninger i forhold til en 3 dimensional afgrænsning af indvindingsoplande, ligesom metoden ikke giver mulighed for at vurdere de øvrige hydrogeologiske

forhold, der indgår i den samlede sårbarhedsvurdering.

De numeriske hydrologiske modeller der anvendes i kortlægningen, er mere komplicerede (se faktaboks om hydrologiske modeller). Disse opstilles på baggrund af en samlet konceptuel forståelse af systemet, hvori data og viden om de geologiske, geokemiske og hydrologiske forhold sammentolkes. Mange af disse data er i bedste fald kun tilgængelig som punktmålinger, og der vil således være store områder, hvor den konceptuelle forståelse bygger på en tolkning. I denne sammenhæng har de hydrologiske modeller en betydelig styrke, idet modellerne integrerer alle de tilgængelige data, og modelresultaterne kan sammenholdes med observationer af eksempelvis pejlinger og vandføringer. Dette giver mulighed for at teste den konceptuelle model og vurdere om denne er tilstrækkelig god til at kunne beregne f.eks. vandbalancen og indvindingsoplandenes udformning og beliggenhed.

En anden styrke ved anvendelse af de hydrologiske modeller er muligheden for scenariekørsler til vurdering af effekten af forskellige ændringer i det hydrologiske system. Scenarieberegninger anvendes i kortlægningssprocessen f.eks. til vurdering af effekten af en ændret indvindingsstruktur, ligesom de giver mulighed for at vurdere betydningen af forskellige usikkerheder.

Er modellerne sandheden?

Til trods for modellernes styrke til at integrere viden og data for et område, er det vigtigt at gøre sig klart, at modeller altid er en forsimpning af de naturlige forhold, da disse aldrig er kendt i alle detaljer. Under modelopstilling og ved selve modelkørslerne er det derfor nødvendigt at foretage en række forsimpninger og antagelser, der vil have effekt på modelresultaterne.

I de numeriske hydrologiske modeller opdeles undergrunden i modelceller (faktaboks), og den geologiske model skal derfor indpasses i disse celler. Er cellerne tilstrækkeligt detaljerede, kan de geologiske strukturer, og egenskaberne knyttet hertil, repræsenteres direkte i den numeriske model. I modsat fald vil der ske en midling og udjævning af de naturgivne forhold.

I de hydrologiske modeller anvendt i kortlægningen indgår der parametre til beskrivelse af de fysiske processer, f.eks. en hydraulisk ledningsevne til beskrivelse af vandets strømning i forskellige jordlag. Disse parametre kan kun i sjældne tilfælde observeres direkte og det er derfor nødvendigt at estimere disse gennem en kalibrering, hvor parameterværdi-

erne justeres indtil der opnås en acceptabel overensstemmelse mellem simuleringerne og de observerede data. Indeholder modelkonceptet mange parametre, er der en fare for, at modelkalibreringen ikke frembringer entydige resultater. For at mindske denne risiko er det nødvendigt at inddrage så mange observationstyper som muligt, f.eks. grundvandsstand, data fra prøvepumpninger og vandføringer.

Andre vigtige overvejelser vedrører de data som modelopstillingen er baseret på. Der er række potentielle usikkerhedskilder, der knytter sig til såvel den geologiske model (se afsnittene om geofysisk og om geologisk modellering i nærværende temanummer), som til fejl og ujævn fordeling i meteorologisk input, der driver modellerne /7/. Samtidig er det en udfordring at tilknytte en pejling til det rette magasin samt sikre kvalitet og tilgængelighed af oppumpningsdata. Opstilling og fastlæggelse af modellens randbetingelser kræver altid, at man som modellør gør sig nogle antagelser om, hvordan modellen påvirker eller påvirkes af omgivelserne. Alt andet lige vokser betydningen af usikkerheden, der knytter sig til randbetingelserne, når arealstørrelsen reduceres og modelrandene dermed ligger tættere på kortlægningsområdet. Dette skyldes, at den ukendte ind- og udstrømning over randen vil have størst betydning i den samlede vandbalance for mindre områder.

Endelig vil modelafviklingen have betydning for præcisionen af modelresultaterne. Til udpegnings af indvindingsoplande vil det ofte være tilstrækkeligt at anvende en stationær model, dvs. det er kun en middelsituation, der betragtes men ikke variationen over tid. Er det ligeledes valgt at kalibrere modellen mod en middeltilstand, kan der være store usikkerheder ved anvendelse af modellen til dynamiske betragtninger.

Videndeling – udover kortlægningen

Via kortlægningen opnås en omfattende hydrogeologisk viden, der bør nyttiggøres i andre sammenhænge. Der er derfor iværksat flere tiltag, der skal optimere genanvendelse af hydrologisk data og viden, bl.a. ved etablering af den nationale modeldatabase og opdateringen af den nationale vandressourcemodel (DK-modellen) på basis af eksisterende kortlægningsmodeller.

En database af modeller

Den nationale modeldatabase er en fælles offentlig database, hvis udvikling blev påbegyndt som et samarbejde mellem amterne og GEUS.

Det primære formål med databasen er at sikre lagring og udveksling af rumlige geologiske og hydrostratigrafiske modeller /8/. Modeldatabase er ikke forbeholdt kortlægningsmodeller og indeholder for nuværende omkring 100 modeller opstillet under såvel kortlægningen som andre projekter, se figur 2 for en oversigt over modeller i modeldatabase. Udover indsatsplanlægningen i kommunerne anvendes modellerne også til andre formål, såsom udpegnings af boringsnære beskyttelsesområder (BNBO).

Dokumentation er et af de centrale elementer i Geovejledning 3 /8/, og anbefalingerne i denne vejledning har været med til at definere kravene til dokumentationen af modeller, der indlæses i modeldatabase /9/.

Den nationale vandressourcemodel

En sideløbende aktivitet var opdatering af DK-modellen, der blev iværksat som led i det nationale overvågningsprogram (NOVANA) for perioden 2004 – 2009, hvor hydrologisk modellering til estimering af vandbalancen blev opprioriteret. Det var de daværende amter, der var ansvarlig for den hydrologiske modellering og i 2005 indgik de et samarbejde med GEUS om opdatering af den nationale vandressourcemodel. Opdateringen blev udført i perioden 2005 – 2009, hvor miljøcentrene overtog amternes opgaver efter strukturreformen. Et vigtigt led i opdatering af DK-modellen var indbygning af de eksisterende hydrologiske modeller udarbejdet af amterne, primært i forbindelse med grundvandskortlægningen. I projektet var der fokus på udvikling af et koncept, der muliggør en løbende opdatering af den geologiske/hydrostratigrafiske beskrivelse i DK-modellen.

Detailmodeller opstilles traditionelt uafhængigt af hinanden. Der opstår således et kludetæppe af isolerede hydrologiske modeller, der kan være vanskelige at udnytte i vandforvaltningen på regional eller national skala. I nationale studier er det derfor primært den nationale vandressourcemodel, der har været anvendt, eksempelvis i forbindelse med; det nationale vandbalanceprojekt /7/, der resulterede i en ændret korrektion af nedbørsdata; i forbindelse med grundvandsklimakortet /10/ til vurdering af den fremtidige grundvandsstand og grundvandsdannelse under ændrede klimaforhold og ikke mindst i forbindelse med udarbejdelsen af de nationale vandplaner.

En indbygning af lokale og regionale modeller i den nationale vandressourcemodel vil

således sikre, at de nationale studier baseres på en opdateret viden opnået gennem detailstudier. Indbygning af lokale og regionale modeller i DK-modellen sikrer endvidere, at disse modeller inkluderes i en sammenhængende hydrogeologisk forståelse og vil kunne anvendes i fremtidige studier for områder, der inkluderer eller krydser én eller flere af de tidligere detailmodeller.

Referencer

- /1/ Sonnenborg T.O. og Henriksen H.J. (eds), 2005: Håndbog i grundvandsmodellering, GEUS rapport 2005/80
- /2/ <http://hyacints.dk/>
- /3/ Refsgaard C.R., Trolborg L., Henriksen H.J., Højberg A. L., Møller R. R og Nielsen A.M., 2010: Geovejledning 7. God praksis i hydrologisk modellering.
- /4/ Miljøstyrelsen, 2000: Zonerings- Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af Grundvandsressourcen, Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 3 2000
- /5/ Susie Mielby S., Ditlefsen C. og Olesen H., 2009: Geovejledning 4. Potentialekortlægning, GEUS
- /6/ Iversen C. H., Lauritsen, L.U. Nyholm T. og Kürstein J., 2008: Geovejledning 2. Udpegning af indvindings- og grundvandsdannende oplande,
- /7/ Refsgaard J.C. Stisen, S. Højberg A.L., Olsen M., Henriksen H.J., Børgesen C. D, Vejen F., Kern-Hansen C, og Blicher-Mathiesen G., 2011: Vandbalance i Danmark - Vejledning i opgørelse af vandbalance ud fra hydrologiske data for perioden 1990-2010
- /8/ Jørgensen F., Kristensen M, Højberg A.L., Strøberg Klint K.E., Hansen C., Jordt B.E., Richardt N. og Sandersen P., 2008: Geovejledning 3. Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering
- /9/ Ditlefsen C, Gausby M., Salomonsen J. og Hansen M., 2012: Vejledning i anvendelse af Modeldatabase, Geo-vejledning 9
- /10/ www.klimatilpasning.dk

DIRK-INGMAR MÜLLER-WOHLEIL er Naturgeograf med Ph.D. i geoökologi/hydrologi og ansat hos Naturstyrelsen. Han arbejder med såvel kortlægning og overvågning af grundvand, som med udarbejdelse af vandplanerne. E-mail: dimul@nst.dk

ANKER LAJER HØJBERG er Seniorforsker (Ph.D.) ved hydrologisk afdeling, GEUS. Primære arbejdsområder er nationale hydrologiske studier af kvantitet og kvalitet, har siden 2005 været projektleder for DK-model. E-mail: alh@geus.dk

KURT MØLLER er Geofysiker og ansat ved Naturstyrelsen som specialkonsulent. Han arbejder i dag som funktionsleder på grundvandskortlægningen. E-mail: kmoel@nst.dk