

**Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1999/20**  
**National vandressource model**  
**Midtvejsrapport, Status - maj 1999, H.J. Henriksen**

**INDHOLDSFORTEGNELSE**

OPNÅEDE MÅL/SUCCESKRITERIER (udvalgte resultater): .....	4
FØLGEGRUPPEN .....	5
PROJEKTETS FORMÅL .....	6
BAGGRUND .....	7
PROJEKTAKTIVITETER .....	8
Modelopstilling .....	8
Pejlestationsnet .....	10
MIKE SHE udvikling .....	11
Videnopbygning .....	13
Mål/succeskriterier .....	13
PROJEKTANALYSER .....	15
Resultatanalyse .....	15
Interessentanalyse .....	18
Resultatmål 1999-2000 .....	25
PROJEKTFORLØB .....	27
Delprojekt I - Modelopstilling .....	30
Delprojekt II – Pejlestationsnet .....	34
Delprojekt III – MIKE SHE udvikling .....	36
Delprojekt IV – Videnopbygning .....	39
EVALUERING OG TEMAMØDER .....	48
Styregruppen .....	48
Følgegruppen .....	48
Arbejdsgrupper med deltagelse af amter og vandforsyninger .....	50
Øvrige temamøder .....	52
FREMDRIFT OG ØKONOMI .....	52
ÆNDRINGER I PLANLAGTE AKTIVITETER FOR 1999-2000 .....	54
PUBLIKATIONER .....	58
Postere .....	58
Konferencebidrag, foredrag med abstract i proceedings uden paper .....	61
Populærartikler i bl.a. danske tidsskrifter .....	61
Rapporter .....	62
Brugervejledninger til udviklede software moduler .....	63
Eksamensprojekter .....	63
Hjemmeside .....	63
BILAG 1 - BETINGELSE FOR UDVEKSLING AF MODELDATA .....	65
1. Grundlag .....	65
3. Rettigheder .....	68
4. Ansvar .....	68
5. Vederlag .....	68
BILAG 2: MEDIANMINIMUMAFSTRØMNINGENS FORDELING I DANMARK. ...	36

## OPNÅEDE MÅL/SUCCESKRITERIER (udvalgte resultater):

- Der er igangsat et PhD-studie i samarbejde med DTU, Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer med prof. Karsten Høgh Jensen som vejleder. Emnet centrerer sig om forbedrede metoder til kvantificering af den arealmæssige variation i grundvandsdannelsen til de forskellige vandførende horisonter, som udgør grundvandsmagasinerne. Værdi af forskellige data og information bl.a. geologisk og hydrogeologisk model, geokemiske fingeraftryk (herunder environmental tracers), boringer og geofysisk vurderes (Studiet er gået i gang 1. maj 1999 med Lars Trolborg som PhD stud.).
- Der er opnået en medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen til den del af projektet, der vedrører udvikling af moduler til modelsystemet MIKE SHE, og primært vedrører deltagelse af Dansk Hydraulisk Institut, ATV (DHI). I alt 4 moduler udvikles under denne finansieringsramme: GeoEditor, GIS værktøjer, Skaleringsværktøj og Salt/ferskvandsmodul (5.5 mio. kr. tilskud fra Erhvervsfremmestyrelsen). Det første nye MIKE SHE modul: GeoEditor er færdiggjort i en release version (april 1999).
- Der er opnået medfinansiering fra GEUS's direktørpulje, vedr. den del af pejlestationsnettets opbygning, der omhandler måleinstrumenter og ca. 10 on-line pejlestationer (0,3 mio. kr). Der er etableret de første 3 on-line pejlestationer samt et større antal stationer med kontinuert vandstandsregistrering.
- Der er etableret en database for medianminimumsafstrømninger hos DMU.
- Der er afholdt et temamøde i 1996 og planlagt midtvejsevaluerings seminar 17-19 maj 1999. Desuden er der afholdt en række møder med deltagelse af amter, vandforsyninger, projektets partnere og øvrige interessenter.
- Der er publiceret en række artikler, postere, rapporter mv. om projektet:
  - 1 artikel er blevet accepteret til publicering i anerkendt internationalt tidsskrift (april 99) og 1 artikel er fremsendt til review til anerkendt internationalt tidsskrift (april 99)
  - 7 artikler er publiceret i proceedings i forbindelse med internationale konferencer og yderligere 2 artikler er fremsendte med accept om optagelse i proceedings
  - 3 postere er produceret og præsenteret ved konferencer (NHK 96 og Vingsted 98,99)
  - rapportering med 4 GEUS rapporter: 1997/50, 1997/139, 1998/ 26 og 1998/109
  - populær artikler i 2 temanumre i "Geologi - Nyt fra GEUS": nr. 1997/2 og nr. 1997/4
  - publicering i 5 populærartikler i danske tidsskrifter, aviser og fagblade (yderligere 1 er under udarbejdelse)
- Planlægning af periodisk formidling via Internettet af aktuel information (nyhedsbrev) om grundvandsressourcens størrelse og variation er påbegyndt med etablering af den første version af en hjemmeside om projektet: [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk).

## **FØLGEGRUPPEN**

Niels B. Ovesen, DMU

John W. Kohrtz, ENS

Henrik Winther-Nielsen, MST

Lene Holm, SNS

Bjørn R. Andersen, FSL

Bjarne Madsen og Hans Jørgen Henriksen, GEUS

## **PROJEKTETS FORMÅL**

Det er projektets overordnede formål at udvikle og etablere en landsdækkende vandressource model som grundlag for at bestemme Danmarks samlede tilgængelige drikkevandsressource, herunder dennes tidsmæssige variation og regionale fordeling, samt vurdere den mulige fremtidige udvikling.

Mere specifikt er formålene med projektet:

- At forstå processer og parametre som styrer grundvandsdannelsen, herunder udvikling af værktøjer til generering af inputdata til vandressourcemodellen på basis af satellitdata samt udvikling af forbedrede beregningsrutiner til kvantificering af den arealdistribuerede nedsivning til grundvandet (videnopbygning)
- At opbygge en national vandressourcemodel bestående af en 3-dimensional, dynamisk grundvandsmodel for Danmark. Dette giver mulighed for vurdering af ressourcens nuværende og fremtidige størrelse og fordeling samt mulighed for integration af resourceovervågning i vandmiljøplanens overvågningsprogram med henblik på en samlet vurdering af ferskvandsressourcens mængde, kvalitet og beskyttelse
- At reorganisere og effektivisere det nationale ressource-overvågningsnet for grundvand, herunder opbygning og implementering af systemer for dataopsamling og lagring, transmission og bearbejdning under anvendelse af tidssvarende teknologi
- At videreudvikle det til grund liggende modelsystem med rutiner og moduler, som er nødvendige i forbindelse med de særlige skalaforhold, krav til kvalitetsdokumentation, krav til opdatering og udveksling af modeldata samt nuværende og fremtidige behov i forbindelse med modellering af kvantitet, kvalitet og beskyttelse.

## **BAGGRUND**

Gennem ca. 50 år har GEUS indsamlet oplysninger om grundvandsstandens variation i Danmark på grundlag af systematiske målinger i en række udvalgte borer fordeelt over hele landet. Dette stationsnet er gennem årene til stadighed blevet udbygget og justeret og tæller i dag ca. 130 pejleboringer, der fortrinsvis måles og indberettes manuelt af lokale observatører.

Resultaterne heraf findes publiceret og anvendes bl.a. som miljøindikator. Derudover har pejleserier gennem årene dannet basis for kvalitative vurderinger af grundvandsressourcens størrelse og har bl.a. indgået som element i forbindelse med Vandrådets redegørelse om Danmarks fremtidige vandforsyning, samt vurderinger vedrørende den fremtidige administration af vandressourcerne på Sjælland. Endelig anvendes tidsserier for grundvandet fluktuationer i stort omfang i forbindelse med forsknings- og konsulentopgaver ved kalibrering af grundvandsmodeller til kvantitativ bestemmelse af grundvandsressourcens størrelse, f.eks. Suså undersøgelsen og Karup Å undersøgelsen.

Der er imidlertid behov for at få udviklet og etableret et landsdækkende system, der kobler målinger af grundvandstanden fra det nationale pejlestationsnet med hydrologisk model analyse. Målet hermed er, på baggrund af input til modelsystemet i form af nedbør og arealanvendelse, at kunne foretage en mere præcis kvantificering og overvågning af udviklingen i grundvandsressourcens aktuelle størrelse og regionale fordeling. Integration med den eksisterende overvågning af grundvandskvaliteten vil ydermere give et væsentligt forbedret grundlag for at vurdere Danmarks samlede tilgængelige ferskvandsressource med hensyn til mængde, kvalitet og beskyttelse som funktion af forureningskilder, arealanvendelse, nedbør, klima etc.

## **PROJEKTAKTIVITETER**

Projektet kan opdeles på 4 hovedaktiviteter:

- Opbygning af national vandressourcemodel for hele landet (modelopstilling - I)
- Reorganisering af det nationale pejlestationsnet (pejlestationsnet – II )
- Videreudvikling af modelsystem (MIKE SHE udvikling – III )
- Forståelse af processer og parametre der styrer grundvandsdannelsen (videnopbygning - IV)

### **Modelopstilling**

Aktiviteten modelopstilling omfatter en landsdækkende grundvandsmodel for hele landet på grundlag af de meget omfattende informationer i GEUS's borearkiv (Jupiter) om geologi og hydrogeologi. Modellen opbygges på grundlag af det af Dansk Hydraulisk Institut (DHI) udviklede hydrologiske modelsystem (MIKE SHE), som en fuld tre-dimensional grundvandsmodel med kobling til arealdistribueret nedbør-/fordampningsrutine og overfladevandsafstrømning. Opstilling af den nationale vandressourcemodel omfatter følgende hovedaktiviteter:

- Udvikling af metoder og beregningsrutiner til forbedret bestemmelse af arealdistribueret nedsivning til grundvandet baseret på punktobservationer af nedbør og klima, arealanvendelse, jordbundsforhold og geologiske forhold i umættet zone, (I-a)

- Udvikling af værktøj og procedurer for bestemmelse og klassifikation af arealanvendelse, inkl. Skalering, baseret på processering og tolkning af satellitdata, herunder de tidsmæssige variationer og indflydelsen på grundvandsdannelse og –kvalitet, (I-b)
- Opbygning og kalibrering af grundvandsmodel for Danmark gennem etapevis opbygning for større regioner i følgende prioriterede rækkefølge: Fyn, Sjælland og Jylland. Til slut supplering med evt. mindre ø-områder og sammenkobling af regions-modeller til landsmodel, (I-c)
- Beregning af aktuel fordeling af grundvandsressourcerne i Danmark og fremskrivning af ressourcens størrelse under antagelse af alternative scenarier for arealanvendelse (skov og braklægning af landbrugsjord) og klimaudvikling (nedbør, fordampning), (I-d)
- Opbygning og integrering af lokalmodeller for udvalgte overvågningsområder under vandmiljøplanen i den nationale vandressourcemodel, (I-e)
- Opbygning af landsdækkende databasesystem for modeldata (I-f)

### **Pejlestationsnet**

Sideløbende med modelopbygningen foretages der en opbygning af et nationalt vandressourceovervågningsnet bestående af dels en reorganisering og effektivisering af GEUS's eksisterende pejlestationsnet på grundvand og opbygning af et landsdækkende databasesystem for pejledata samt dels indsamling af medianminimumsskøn til landsdækkende database hos DMU.

Opbygningen af databasen for medianminimumsskøn omfatter indsamling af data fra amterne samt udpegning af vandløbsstationer, som indgår i ressourceovervågningsnettet. Lokalteter med såvel faste vandføringsmålestationer med kontinuert registrering samt synkronmålingslokaliteter med enkeltmålinger vil indgå i det landsdækkende ressourceovervågningsnet.

Pejlestationsnettet opbygges således, at det vil være i stand til at afspejle indflydelsen fra omgivelserne på de tre hydrogeologiske hovedsituationer: terrænnært grundvand direkte påvirket af klima- og arealanvendelse, dybtliggende grundvand afspejlende langtidsfluktuationer og grundvand i større vandindvindingsområder påvirket af vandindvinding.

Pejlestationsnettet vil desuden komme til at afspejle de geologiske og klima-/arealmæssige variationer i så høj grad som det er muligt. Opbygningen af det nationale pejlestationsnet omfatter følgende hovedaktiviteter:

- Kravspecifikation, design af netværk og udvælgelse og test af målestationer (II-a)
- Udvikling af EDB-systemer/databaser og pilot-implementering af dataopsamlingsssystem (II-b)
- Etablering af on-line stationsnet (II-c)
- Indkøring og drift af pejlestationsnet (II-d)

## MIKE SHE udvikling

Videreudvikling af MIKE SHE systemet omfatter udvikling eller videreudvikling af følgende moduler og systemer:

- Udvikling af et tre-dimensionalt geologisk tolkningsmodul til modelparametrisering. Modulet skal danne kobling mellem GEUS's borearkiv og MIKE SHE. Dette modul skal kunne håndtere geologiske data såvel som data fra geofysiske undersøgelser. Aktiviteten har til formål at opbygge en egentlig "geoeditor" i et GIS miljø, hvori man kan få overblik over de geologiske data, fortolke data og derved opbygge en geologisk model for et givent område og endelig at strukturere den geologiske model i et for en numerisk model forståeligt format (III-a : GeoEditor).
- Modul for kobling til andre eksisterende databaser med informationer om klima, vandindvinding, jordtyper, topografi, vegetation, grundvandstand, vandløb og drænsystemer, vådområder samt andre areal- og tidsbaserede parametre. Aktiviteten har til formål at udbygge koblingen til andre databaser (meteorologiske, jordfysiske, geografiske etc.) således at en modelopstilling kan foretages endnu mere automatisk end hidtil (III-b : GIS værktøjer).
- Modul til transformation af parameterværdier mellem forskellige skalaer, herunder hensyntagen til vekselvirkning mellem overflade- og grundvand i ånære områder. Aktiviteten har til formål dels at forbedre beskrivelsen af forholdet mellem punktinformationer f.eks. i form af transmissivitetsværdier bestemt ud fra kortvarige prøvepumpninger og arealfordelte parameterværdier, som typisk indgår i numeriske modeller, dels generelt at forbedre beskrivelsen af vandudvekslingen mellem overfladevand og grundvand i ånære områder, hvor de hydrauliske forhold beskrives på vidt forskellige skalaer (III-c : Skaleringsværktøjer).
- Modul for salt-/ferskvands balance beregning. Aktiviteten har til formål at udbygge det hydrologiske modelsystem MIKE SHE, så der kan regnes på densitetsbetingede strømningsforhold, som i visse områder i Danmark styrer vandbevægelser i grundvandszonen i nærheden af kyster og i visse forbindelser også ved kraftige forureningsudslip (III-d: Salt-/ferskvand modul).
- Ad-hoc udvikling af MIKE SHE moduler i forbindelse med den landsdækkende modelopstilling (finansieret via projektet og ikke som ovenstående 4 moduler via Erhvervsfremmestyrelsen) omfatter følgende del-aktiviteter:
  - integreret stationær løsningsrutine til MIKE SHE strømningsmodel (OC, UZ og SZ), III-e
  - videreudvikling af MIKE SHE vandbalancemodul, III-f
  - videreudvikling af MIKE SHE partikelbanemodul, III-g

Der er i 1999 iværksat et basisprojekt vedr. afprøvning af invers modellering (PEST 98 og U-code) i forbindelse med bl.a. DK-modellen. Udviklingen af en stationær løsningsrutine og invers modellering har til hensigt at give mulighed for nærmere validering af modellen.

## Videnopbygning

Videnopbygning i forbindelse med projektet omfatter gennemførelse af et PhD studie (IV-a), publicering af projektets resultater i internationalt anerkendte tidsskrifter og populæartikler i danske tidsskrifter (IV-b), afholdelse af temamøder og seminarer (IV-c) samt periodisk formidling om grundvandsressourcens størrelse og variation (kvartårligt nyhedsbrev, IV-d). Endelig sker der en videnopbygning i forbindelse med eksamensprojekter (IV-e) med anvendelse eller analyser med udgangspunkt i DK-modellen.

## Mål/succeskriterier

Der var ved projektets start opstillet følgende mål/succeskriterier:

1. Der igangsættes et PhD-studie i samarbejde med DTU, Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer med prof. Eggert Hansen som vejleder. Emnet vil centrere sig om forbedrede metoder til beskrivelse af nedsivningen til grundvandet (omsætning af punktinformationer til arealdistribuerede værdier).
2. Der ansøges om medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen til den del af projektet, der vedrører udvikling af moduler til modelsystemet MIKE SHE, og primært vedrører deltagelse af Dansk Hydraulisk Institut, ATV (DHI).
3. Resultaterne af projektet publiceres i anerkendte, internationale tidsskrifter under projektførelsen og i forbindelse med dets afslutning. Derudover påregnes et antal populæartikler publiceret i danske tidsskrifter (Vandteknik, Vand & Jord).  
Den videnskabelige produktion forventes at være indenfor følgende specifikke emner:
  - Aldersdatering af grundvand
  - Geologisk variabilitet (stor-skala)
  - Arealanvendelse, udvikling af værktøjer til på basis af satellitdata at beskrive variationen i tid og sted
  - Grundvandsfluktuationer og ressourcestørrelse
  - Interaktionen mellem grundvand og overfladevand
4. I tilknytning til projektevalueringerne arrangeres der et seminar/symposium om vandressourcer. Derudover afholdes der temamøder i slutningen af 1996, 1999 og 2000.
5. Ved afslutningen af projektet igangsættes en periodisk formidling af aktuel information (evt. kvartårligt nyhedsbrev) om grundvandsressourcens størrelse og variation på landsplan.
6. Der ansøges om medfinansiering fra Forskningsministeriets programidler vedr. IT til den del af pejlestationsnettets opbygning, der omhandler måleinstrumenter, on-line systemer, databaseopbygning etc.
7. I forbindelse med revisionen af Vandmiljøplanens overvågningsprogram i 1998 er det målet at integrere ressourceovervågningen med den eksisterende kvalitetsovervågning, således at der opnås et bedre billede af den tilgængelige og udnyttelige ferskvandsressources tilstand.

## PROJEKTANALYSER

### Resultatanalyse

Der er primo 1999 gennemført en resultatanalyse af projektet (se Tabel 1). Betydning for succes og usikkerhed vedr. opnåelse af resultat er vurderet på en skala fra 1-5 for 7 udvalgte resultater. Behovet for ledelsesfokus er kalkuleret som produktet af de to parametre "betydning for succes" og "usikkerhed vedr. opnåelse af resultat". Det vurderes på baggrund af Tabel 1 at der i perioden 1999-2000 ledelsesmæssigt bør sættes fokus på publicering i internationalt anerkendte tidsskrifter og opstilling af landsdækkende grundvandsmodel. Muligheder for systemeksport og "spin-off" kan desuden være af betydning for GEUS, selvom de ikke er defineret som mål/succeskriterier for projektet.

Mulige resultater/ perspektiver/ forventninger	Betydning for Succes	Usikkerhed vedr. opnåelse af resultat	Behov for ledelses- fokus	Mulige foranstaltninger
Publicering i internationalt anerkendte tidsskrifter	5 Alfa og omega for opdragsgiver	3	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Ressource allokering</li> <li>O Vejledning / skrivegrupper</li> <li>O Motivation</li> </ul>
Opstilling af brugbar landsdækkende grundvandsmodel	5 Alfa og omega for Opdragsgiver	3	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Sikre realistiske forventninger</li> <li>O Gøre resultater og modeldata tilgængelige for amterne og Øvrige interessenter</li> <li>O Afklare muligheder for videreudvikling/vedligeholdelse af model (GEUS strategi på vandressource området, resultatkontrakt mm.)</li> </ul>
PhD studie	3 Betydning for langsigtet viden/ del af GEUS værdisgrundlag	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Konkretisering af indhold og stillingsopslag</li> <li>O Sikre opbakning hos GEUS under PdD studiet (vejledning, data etc.)</li> </ul>
Effektiviseret pejlestationsnet	4 Vigtigt for GEUS's langsigtede viden og ressourcemonitoring	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Demonstrere værdi af nyt on-line stationsnet ved kommende tørke</li> <li>O Sikre at on-line data og øvrige peyledata er tilgængelige via Internettet (sikre ressourcer til en udbygning af hjemmesiden)</li> </ul>
Videreudvikling af MIKE SHE	3 Betydning for opstilling, vedligeholdelse og yderligere detaljering af model i fx amterne	3	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Afprøve de udviklede MIKE SHE moduler i forbindelse med forsknings- og rådgivningsopgaver</li> <li>O Fastholde et højt fagligt niveau på modelområdet i GEUS</li> <li>O "Uvildig" rådgivning vedr. værktøjer på modelområdet/kurser for amtsfolk</li> </ul>
System eksport	2 for projektet 4 for GEUS	5 5	10 20	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Udnyt samarbejdspartner (DHI)</li> <li>O DANCED/DANIDA/Østeuropa</li> </ul>
Spin off	1 for projektet 4 for GEUS	5 4	5 16	<ul style="list-style-type: none"> <li>O EU projekter (DMI, DHI, VKI, DMU, DJF og internat. partnere), 5<sup>th</sup> rammeprogram start juni 1999</li> <li>O EU vandrammedirektiv.</li> <li>O Detaljering af model/rådgivning fx zoner (afklare GEUS rolle)</li> <li>O Kobling af DK-model med klimamodel (input til scenarier)</li> </ul>

Tabel 1. Resultatanalyse

## Interessentanalyse

Vigtige interessenter	Rolle/bidrag til projektet	Vurder interessenternes betydning for projektet (skala 1-5)	Vurdering af interessenternes egne succékriterier	Mulige foranstaltninger til fremme af succes kriterierne
Miljøministeriet, Departementet	Finansiering af projektkontrakt	Vitalt for finansiering af projektet (5)	Resultater i form af modelopstilling for hele landet, PhD og videnskabelige publikationer samt synliggørelse af projektet	Etablering af hjemmeside samt afholdelse af midtvejs- og slut-evaluering med resultatformidling for en bredere kreds
Erhvervsfremmestyrrelsen	Finansiering af MIKE SHE udvikling	Vitalt for finansiering af MIKE SHE udvikling (5)	Resultater i form af konkrete nye (release) moduler til MIKE SHE samt evt. eksempler på systemeksport	GEUS/DHI anvendelse af de udviklede moduler på andre projekter DHI salg af udviklede moduler (MIKE SHE)
GEUS direktion og administration	Servicering af projektet med forskellige former for rådgivning (jurisk/-økonomisk/organisatorisk)	2	At tidsplan og økonomi så vidt muligt overholdes og målsætninger jf. resultatkontrakt opfyldes	Løbende forankring af projektet i GEUS/MST Opbygning af hjemmeside og formidling
GEUS Hydrologi og Glaciologi afdelingen	Hydrogeologisk tolkningsmodel og numerisk grundvandsmodel; Projektledelse	5	At GEUS er nationalt førende indenfor vandressource vurderinger, herunder parameterfastsættelse, og numeriske grundvandsmodeller	International publicering og projektstyring (tid, mandskab og økonomi); sikre bemanning; integration af DK-model med forskningsaktiviteter
GEUS Kvartær- og maringeologisk afdeling	Boringsdata og GIS data, glacialtektonik og vandindvindingsdata, database udvikling (Jupiter: borearkiv og Gerda: miljøgeofysik)	4	Fremhæve geologiens betydning, sprækker, glacialtektonik mm.; Geologisk model; Links fra GIS, Jupiter/PC ZEUS og Gerda til model	Sikre koordinering gennem hensigtsmæssig bemanning og i forhold til øvrige tværgående aktiviteter (fx forskningsprojekter/SMP 96)
GEUS Geokemisk afdeling	Aldersdatering og grundvandskemi / forureningsudbredelse	3	Viden om organiske stoffers transport og nedbrydning i grundvand, herunder pesticider;	Detaljeret af DK-model med henblik på analyser af opholdstider i redoxmiljøer/pesticidfund
DTU/ISVA og IGG	Videnopbygning, Eksamensprojekter PhD vejledning mm.	3	PhD resultater og videnopbygning; Projekter med relevans	Ressourceallokering i forbindelse med eksamensprojekter og PhD
DHI	Kodeudvikling på MIKE SHE + support	3	Nye moduler til salg; Landsdækkende model baseret på MIKE SHE; Systemeksport	Sikre informationsudveksling (DHI deltager i følgegruppe møder); Koordination af formidling
DMU	Vandføringsdata + opbygning af database over medianminimums vandføringer	2	Opbygning af medianminimums-database; Afstrømningsdata; Hydrografanalyser og konceptuelle modeller; Vandkvalitet og biologi	Tværgående arrangementer og projekter med fokus på både grundvand og overfladevand, fx DVK møde om minimumsafstrømning 9-10 juni
Amter	Levering af øvrige data + evt. bruger af modelopstilling/-resultater ved detaljerede modeller	3	At modellen er tilgængelig og at resultater er let forståelige/brugbare i amterne	Sikre konsensus; Projekt hjemmeside med tilgængelige resultater og adgang til database
DMI/DJF	Levering af klima input data (40 km grid)	1	Levering af relevante grid-baserede klimadata	Udvikling af samarbejde; forskningsprojekter (EU)
Vandværker	Bruger af modelresultater	1	Grundvandsdannelse og nye beskyttelsestiltag; Decentral vandforsyning	God hjemmeside med model- og pejleresultater; Formidling i populærform

**Tabel 2:** Interessentanalyse

I Tabel 2 er projektets interessenter analyseret i forhold til deres rolle/bidrag til projektet, betydning for det samlede projekt og egne succékriterier. Det fremgår af tabel 2, at projektets væsentligste primær-interessenter er Miljøministeriet (Departementet), Erhvervsfremmestyrelsen, GEUS, DTU, DHI og amterne.

Projektet er kendetegnet ved mange løst tilkoblede interessenter, et forløb over flere år, mange deltids projektdeltagere, faglige løsninger der kræver input fra forskellige faggrupper, stor inertie og fremdrift som forudsætter teamwork og ekspertise. Projektet udføres i projektforum. Beslutninger træffes af linieorganisationen dvs. statsgeolog og projektleder i afdelingen for Hydrologi og Glaciologi. Der er forskellige typer potentielle brugere, nogen er primært interesserede i modelopstillingen og parametre, andre i resultaterne af simuleringerne.

GEUS's centrale ekspertise består i at kombinere geologisk og hydrogeologisk viden om processer og parametre med kunnen indenfor numerisk grundvandsmodellering. Bidrag fra interessenter består i levering af data, udvikling af ny modelkode, konsensus, kvalitetssikring og input til simuleringsscenerier. Kobling til vandmiljøovervågning og andre projekter kan ske ved opstilling af mere detaljerede modeller for udvalgte områder med analyser af fx partikelbanetransport.

Amterne vurderes at være den væsentligste bruger af DK-modellens resultater, men er herudover en væsentlig dataleverandør og aktør i forbindelse med kvalitetssikring af den hydrogeologiske model og den numeriske model. Det tilstræbes så vidt muligt at opnå konsensus med amternes hydrogeologer i forbindelse med modelopstillingen. Der er desuden lagt vægt på at forsøge at inddrage amterne ved simuleringerne, med henblik på finansiering af simuleringsskørelser, der så vidt muligt indeholder de scenarier, som vurderes relevante i forhold til amternes vandressourceforvaltning.

Med henblik på udveksling af modelopstillinger fra den landsdækkende modeldatabase er der udarbejdet betingelser herfor i forhold til amterne (se bilag 1). Amternes behov vil oftest være at få leveret et udsnit af DK-modellen (med den samlede modelopsætning), fx for et helt amt eller et delområde heraf, oftest med en yderligere detaljering af topografi, vandløbssystem og geologi. GEUS udfører sådanne rekvirerede rådgivningsopgaver efter regning jf. konsulentsatser. Betingelserne for at GEUS leverer disse modeldatasæt fremgår af bilag 1, men en forudsætning er, at de modelopstillinger amterne arbejder videre med (evt. med brug af et rådgivningsfirma) indberettes til den landsdækkende modeldatabase.

To konkrete eksempler på opgaver hvor DK-modellen er blevet anvendt i forbindelse med opstilling af mere detaljerede modeller er (1) En rådgivningsopgave for Svendborg området, som udføres for Fyns Amt, berørte kommuner og vandforsyninger i samarbejde med COWI i perioden april-september 1999. GEUS opstiller her en detaljeret hydrogeologisk tolkningsmodel og en numerisk grundvandsmodel med henblik på vurdering af indvindingsoplunde, og (2) En forskningsopgave i relation til SMP 96 med opstilling af en regional pesticid model for Vårby Å oplandet. DK-modellen er her anvendt i forbindelse med indledende vurderinger og fastlæggelse af bl.a. randbetingelser.

Vandværkerne vil formentlig oftest være interesserede i modellens resultater. GEUS's strategi her er at udvikle hjemmesiden så samtlige relevante resultater kan hjemtages herfra, fx grundvandsdannelse, vandbalancer, hydrogeologiske model, parametre etc. Der er etableret en første version af hjemmesiden, men en yderligere videreudvikling vil forudsætte en yderligere finansiering, udover det der er til rådighed via projektet.

### **Resultatmål 1999-2000**

En række mål/succeskriterier vurderes opfyldt efter projektets første 3 år som nævnt indledningsvis igangsætning af PhD studie, medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen til MIKE SHE udvikling, temamøde og midtvejsevaluering, periodisk formidling via Internettet, publicering i form af konferencebidrag og populærartikler i danske tidsskrifter samt færdiggørelsen af GeoEditor i release version.

Der er på den baggrund opstillet følgende reviderede resultatmål for projektet i perioden 1999-2000:

- 2-4 publikationer i internationalt anerkendte tidsskrifter (1999-2000) indenfor områderne: grundvandsdannelse, interaktion mellem grundvand og vandløb, parametrisering af glacialtektonisk variabilitet, baggrund og hovedresultater af model samt validering af grundvandsmodel ved anvendelse af invers modellering og aldersdatering
- videnopbygning fokuseres på grundvandsdannelse og beskyttelse i relation til PhD studiet med opstart 1. Maj 1999, eksamensprojekter samt ved formidling i forbindelse med Midtvejsevaluering samt et afslutningsseminar i år 2000
- den landsdækkende model er opstillet for hele landet ved udgangen af år 2000 – Jylland afsluttes syd for Limfjorden i 1999; konkrete modelsimuleringer søges finansieret af amtskommuner, vandværker mm. som rådgivningsopgaver
- der lægges i 1999 vægt på validering af modelopstilling ved brug af invers modellering og aldersdatering
- et revideret og effektiviseret pejlestationsnet forventes klar i løbet af 2000. Ca. 10 online pejlestationer ventes i drift imod udgangen af 1999

Nye MIKE SHE moduler med GIS værktøjer og skaleringsværktøjer færdigudvikles i 1999, salt/ferskvandsmodul og ad-hoc moduler færdiggøres i 1. halvår af 2000; nyudviklede moduler testes i forbindelse med forsknings- og rådgivningsopgaver samt PhD studie. Der er i de kommende år 1999-2000 behov for en nærmere afklaring af den videre udvikling og vedligeholdelse af DK-modellen. Der foreligger to alternative options:

1. Opstilling af regionale numeriske grundvandsmodeller (incl. overflademoduler), fx i forbindelse med zoner og anvendelse af DK-modellen som udgangspunkt for modelleringen, til vurdering af randbetingelser, som grundlag for den konceptuelle model eller som udgangspunkt for parameterfastsættelsen (paraply for mere detaljerede modeller hvor topografi, vandløbssetup eller geologi detaljeres yderligere/decentralt finansieret)
2. En videreudvikling af DK-modellen med en yderligere detaljering af modelopstillingen for de øverste modellag, inkludering af umættet zone, kobling til klimamodeller, inkludering af redoxmiljøer, opdatering med geofysiske data samt tilhørende parameterestimering/skalering (videreudvikling af DK-modellen til en DK-model 2/centralt finansieret)

## PROJEKTFORLØB

Projektets samlede forløb kan groft opdeles på følgende 6 faser/resultater:

- Fase 0: Ressourcer, projektformulering og kontrakt (21.12.1995)
- Fase 1: Koncept for databearbejdning, konceptuel model og numerisk model (1996)
- Fase 2: Fyn model, formidling og kontrakt med Erhvervsfremmestyrelsen (1997)
- Fase 3: Sjælland model, metodeforbedring, opstart af Jylland model, publikationer og GeoEditor (1998)
- Fase 4: Jylland syd for Limfjorden, midtvejsevaluering, igangsætning af PhD studie, modelvalidering, GIS værktøjer, skaleringsmodul, hjemmeside og online pejlestationsnet (1999)
- Fase 5: Model hele landet, simuleringsscenerier, seminar, publicering, modelbase, pejlestationsnet, salt/ferskvandsmodul, og pejlestationsnet (2000)

	Fase 1 Koncept	Fase 2 Fyn	Fase 3 Sjælland	Midtvejs- Evaluering	Fase 4 Jylland syd for Limfjorden	Fase 5 Afslutning
	1996	1997	1998	17-19 maj 1999	1999	2000
<b>Modelopstilling:</b>						
Nedsivningsmetoder (I-a)				Start PhD		
Arealanvendelse via satellitdata (I-b)					Koordinering DMU / GEUS	
<b>Etapevis modelopbygning (I-c):</b>						
Fyn			ISVA eks.proj			
Sjælland						
Jylland syd for Limfjord						
Rest Jylland, Bornholm mv.					IGG eks.proj.	
Lokalmodeller (I-e)	- Østfyn - Sneum å	- Ejstrupholm	- Vårby å		- Svendborg - Karup å	
Resourcevurderinger og simuleringer (I-d)		Fyn	Sjælland		Jylland syd	
National modeldatabase (I-f)					Etablering af hjemmeside	
<b>Ressource-overvågningsnet:</b>						
Kravspecifikation, design, test (II-a)	Pejlestat. net					
Udvikling af EDB-systemer (II-b)		Standat		Jupiter		
Etablering af on-line stationsnet (II-c)		Test af Dataloggere		Udvikling og test af on-line systemer	Ca. 10 stat.	
Indkøring/drift af pejlestationsnet (II-d)		Fyn	Sjælland		Jylland	
<b>Udvikling af MIKE SHE:</b>						
GeoEditor	Identifikation	Udvikling			Test	
GIS værktøjer		Identifikation	Udvikling			Test
Skalerings modul			Identifikation			Test
Salt-/ferskvandsmodul					Udvikling	
Ad-hoc moduler			Stationær Vandbalance Partikelbane			
<b>Videnopbygning</b>		Glacialtektonisk variab.	Grundvand/ vandløb		Invers model/ Datering	Grundvands- Dannelse
<b>Publicering i intern. tidsskrifter</b>						
<b>Evaluering og temamøder</b>	Temamøde					

Sort: hovedaktiviteter; Grå: behandles også, Hvidt: begrænset aktivitet

Figur 1: Hovedtidsplan

## **Delprojekt I - Modelopstilling**

### *Nedsivningsmetoder (aktivitet I-a)*

Der var oprindeligt planlagt et Ph.D.-studie under vejledning af prof. Eggert Hansen, IS-VA/DTU. Aktiviteten var oprindeligt fastsat til afvikling i perioden 1996-98. Ph.D.-studiet var tænkt tæt koblet til gennemførelsen af bl.a. aldersdateringer i udvalgte områder. Disse har derfor måttet udskydes indtil videre. På grund af problemer med egnede kandidater, træghed i forhandlinger med Forskerakademiet om en revideret Ph.D.-aftale blev PhD.-studiet i første omgang udskudt til forventet start 1. januar 1998. Der var imidlertid fortsat problemer med at formulere projektet mellem GEUS og DTU/ISVA (Karsten Høgh Jensen), idet det blev undersøgt om der var muligheder for at fokusere på remote sensing, incl. studieophold i USA. I forbindelse med at en "egnet kandidat" primo 1998 i stedet valgte at studere PhD i udlandet, blev processen med projektformulering startet op på ny. Først ved udgangen af 1998 blev der opnået enighed mellem GEUS og DTU/ISVA om en projektformulering. Herefter blev der udarbejdet stillingsopslag.

Der er formuleret et PhD studie som igangsættes 1. maj 1999 under vejledning af prof. Karsten Høgh Jensen og med Lars Trolborg som PhD studerende. Indholdet i dette studie forventes at blive:

- Udpegning af grundvandsmagasin med solidt datagrundlag
- Feltundersøgelser (hydrogeologi, geokemi, arealanvendelse, tracere)
- Geologisk og Hydrogeologisk model
- Geokemiske fingeraftryk (herunder environmental tracers)
- Boringer og geofysik
- 3-D numerisk model (partikelbaner/invers modellering)
- Relatering af fingeraftryk til arealmæssig fordeling af nedsivning

Der er i forbindelse med modelopstilling for Fyn og Sjælland udviklet et simpelt rodzone-modul og fastlagt fordeling af nettonedbør mellem grundvand og overfladevand baseret på topografisk variation, befæstede arealer og jordartsforhold. Input til modulet udgøres af daglig nedbør og potentiel fordampning for et 40x40 km klimagrid. Rodzonemodulet er koblet til MIKE SHE systemets moduler overfladevands- og grundvandsmoduler (OC og SZ), og leverer input med daglige værdier for beregningsnettet på 1x1 km. Se GEUS rapporter 1997/137 og 1998/109 vedr. metoder og implementering. Der er set bort fra MIKE SHE's umættede zone i modellerne for Fyn og Sjælland.

### *Arealanvendelse via satellitdata (aktivitet I-b)*

Aktiviteten er indtil videre udskudt, idet det i første omgang blev vurderet, at denne aktivitet kunne være en del af PhD studiet. I forbindelse med den endelige formulering af PhD studiet blev remote sensing, som det fremgår af ovenstående, nedtonet. Aktiviteten er derfor udskudt, indtil der foreligger forbedrede arealanvendelsesdata (AIS data fra DMU i 1:25.000). Arealanvendelsen i DK-modellen er baseret på Corine-data. Nye AIS data i 1:25.000 forventes først klar for hele landet i løbet af 1999-2000. Se GEUS rapporter 1997/137 og 1998/109 vedr. metoder og implementering af arealanvendelsesdata i DK-modellen.

### *Etapevis modelopbygning (aktivitet I-c og I-d)*

Fyn og Sjællandsmodellerne er afsluttet i henholdsvis 1997 og 1998. Se GEUS rapporter 1997/137 og 1998/109.

I 1998 blev opstilling af model for Jylland igangsat og ved årsskiftet 1998-99 forelå der en hydrogeologisk 3D model for Sønderjylland (fra grænsen til Kongeåen), ligesom der forelå et vandløbssetup for Sønderjylland ved årsskiftet.

Modelopstillingen er dermed forsinket med  $\frac{1}{2}$  - 1 år i forhold til den oprindelige tidsplan (i denne var det forventet at Sjællandsmodellen ville være afsluttet ved udgangen af 1997, og at Jyllandsmodellen ville blive påbegyndt i starten af 1998).

Det forventes at Jyllandsmodellen vil være afsluttet syd for Limfjorden i løbet af 1999 og at modellen for hele af landet (I-c) og modelsimuleringer (I-d) kan gennemføres inden udgangen af år 2000.

### *Lokalmodeller (aktivitet 1-e)*

Der er opstillet lokalmodeller for Sneum å, Ejstrupholm, Østfyn og Vårby å med henblik på fastlæggelse af koncept for modelopstilling på Øerne og for Jylland. Modellerne for Sneum å, Ejstrupholm og Østfyn har været anvendt med henblik på vurderinger af grundvandsbeskyttelse og indvindingsoplande til vandværker. Modelopstillingerne er senere anvendt i forbindelse med en afprøvning af zoneringsmetoder i et udredningsprojekt for Miljøstyrelsen.

Modellen for Vårby å er detaljeret med udgangspunkt i DK-modellen med hensyn til topografi, vandløbssystem og geologisk model. Der vil blive arbejdet videre med Vårby å modellen i forbindelse med det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 96) om pesticider og grundvand (regional pesticidmodellering), og den nyudviklede GeoEditor er blevet testet i forbindelse med den geologiske modelopstilling for Vårby å.

Der forventes yderligere detailmodeller i løbet af 1999-2000 for Svendborg og Karup å, ligeledes med anvendelse af GeoEditoren.

De nyudviklede MIKE SHE moduler: GIS-værktøjer, skalering og salt-/ferskvand forventes testet på udvalgte lokalmodel oplande.

### *Modeldatabase (aktivitet 1-f)*

Der er i samarbejde med en modelfølgegruppe for Københavnsområdet udarbejdet en opdateret vejledning i kvalitetsdokumentation af modeldata i forbindelse med en landsdækkende modeldatabase (GEUT rapport 1998/26). Den landsdækkende modeldatabase administreres af GEUS. Vejledning og oversigt af modeller i databasen er tilgængelige på [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk). Kvalitetsdokumenter for DK-model for Fyn, Sjælland og Sneum å kan downloades fra hjemmesiden. Udover disse modeller er der i databasen modeller fra Kø-

benhavnsområdet bl.a. Sønderød, Vestegn, Brøndby, Ballerup-Herlev, Gladsaxe og Solhøj. Det afklares i løbet af 1999 med modelfølgegruppen hvorvidt disse "ældre" modeller vil blive tilgængelige via hjemmesiden med kvalitetsdokumenter i pdf-format. Det er et krav ved indberetningen af "nye" modeller at der foreligger et kvalitetsdokument jf. Vejledningen i elektronisk format (pdf-format).

## **Delprojekt II – Pejlestationsnet**

Samlet reorganisering af pejlestationsnettet udføres i takt med at DK-modellen opstilles for hele landet. Samlet reorganisering vil derfor være afsluttet ultimo 2000. Der er gennemført en foreløbig vurdering af GEUS's godt 100 pejlestationer med henblik på udvælgelse af stationer til on-line opkobling. 25 pejlestationer er vurderet potentielt velegnede som on-line stationer, 10 af disse stationer er testet i 1998, yderligere 15 vurderes i løbet af 1999.

Der er i projektføreløbet foretaget et udviklingsarbejde hos leverandører af automatiske on-line pejlestationer, som ikke er en 'hyldevare'. Der er i 1998 etableret on-line opkobling til 3 pejlestationer. I 1999 forventes on-line opkobling til yderligere 7-9 stationer. I 1998 er der udviklet og testet 1 fabrikat af on-line stationer (H.F. Jensen/tidligere Aquatronic). I 1999 vil der blive testet yderligere 1 fabrikat af on-line stationer (Ott).

Modernisering og overførsel af den eksisterende peyledatabase til GEUS's miljøinformationssystem, Jupiter, er endnu ikke gennemført i fuldt omfang.

GEUS's nationale pejlestationsnet vil ved udgangen af år 2000 bestå af ca. 12 on-line stationer med automatisk dataopsamling, samt yderligere ca. 30 pejlestationer med kontinuert dataopsamling. Udover dette net er amterne i gang med en opbygning af regionale pejlestationsnet bestående af et stort antal stationer for hele landet (mange med kontinuert registrering). Data fra amternes regionale net indberettes til GEUS's peyledatabase Jupiter, sammen med peyledata fra overvågningsprogrammet (GRUMO).

Med hensyn til ressourceovervågningen i forhold til baseflow i vandløb er der etableret en database for medianminimumsskøn hos DMU i Silkeborg omfattende:

1. En database indeholdende data for medianminimum-afstrømning fra omkring 3500 målestationer i vandløb. Data er indsamlet fra amterne, der har hver deres stationsnet. Samtlige stationer er koordinatfastsat ved digitalisering af kortmateriale. Data er indlagt i hydrometridatabasen "AQUA", der indeholder alle øvrige danske hydrometriske data.
2. Dataudtræk af medianminimum-vandføring samt tidsserier med daglig vandføring fra ca. 200 målestationer fra hydrometridatabasen er anvendt i forbindelse med opstilling og kalibrering af delmodellerne for Fyn, Sjælland og Syddjylland.
3. Der er udarbejdet udkast til et kort over medianminimumafstrømningens fordeling i Danmark (se bilag 2). Til beregning af fordelingen er anvendt data fra ca. 250 udvalgte målestationer.

### Delprojekt III – MIKE SHE udvikling

- Der er udviklet et tre-dimensionalt geologisk tolkningsmodul til modelparametrisering, GeoEditor. GeoEditoren er et grafisk redskab i et GIS-miljø, der sætter brugeren i stand til at udvikle, tolke og afprøve geologiske modeller baseret på GEUS boringsarkiv (PC-ZEUS) og på geofysiske data. GeoEditoren sammenknytter basal geologisk and geofysisk viden, med konceptuel fortolkning og model repræsentation. Baseret på erfaringen fra geologer, hydrogeologer og modelanvendere er det muligt at bruge to alternative tilgangsvinkler ved opstillingen af den geologiske model. Man kan enten fastlægge den geologiske struktur ud fra vertikale profiler eller ud fra horisontale zoner i forskellige dybder. Begge tilgangsvinkler kan inddeles efter et tretrins princip, der består af overblikdannelse og udvælgelse af de geologiske data efterfulgt af geologisk fortolkning, definition af laggrænser og linser og endelig en interpolation af de fortolkede profiler/zoner til en tre-dimensionel geologisk model. Den resulterende geologiske model bliver endelig evalueret og modificeret, hvis den indeholder inkonsistens. Den færdige geologiske model kan eksporteres til MIKE SHE grundvandsmodel.
- Hvad angår modulet for opkobling til andre eksisterende databaser med informationer til brug for hydrologisk modellering er der en foreløbig udgivelse af et redigeringsværktøj til brug for modelopstilling i den umættede zone (UZ-editor), der tager udgangspunkt i en udnyttelse af GEUS' jordartskort. Der er udarbejdet en brugerflade i GIS, der kan importere information fra jordartsdatabasen og hjælpe til ved stillingtagen til detailniveau af UZ-opsætningen. Det er muligt at inddrage geologisk information fra ZEUS-databasen ved tolkningen af UZ-profiler. Endvidere er det muligt at knytte hydrologiske egenskaber til de enkelte jordtyper i de opnåede UZ-profiler enten direkte ved hjælp af retentionskurve og ledningsevnefunktion eller indirekte gennem pedotransferfunktioner. Der er mulighed for at vælge mellem flere forskellige modelfunktioner. UZ-editoren planlægges at blive udbygget med et check på grundvandsspejlets dybde i forhold til den planlagte UZ-profil dybde. Et sådant check vil kunne gennemføres ved indlæsning af kort over topografi og grundvandsspejl evt. fra en tidligere gennemført session med GeoEditoren. Arbejdet med UZ-editoren forventes færdiggjort i første halvdel af 1999.
- Behandlingen af rådata til modeldata for tidlig/stedlig information har klarlagt behovet for værktøj for henholdsvis potentiale- og oppumpningsdata. Disse to typer data er meget tidskrævende at behandle til modelbrug. Der er tale om et GIS-værktøj til behandling af tidsserier til at danne overblik, harmonisere serierne i tiden, vægte forskellige kilder, kombinere tidlig og rumlig information, sammenligne potentiale- og oppumpningsdata samt at gruppere boringer fra samme lag. Rådata skal f.eks. kunne udtrækkes fra Jupiter (tidligere ZEUS). Den egentlige begrænsning ved behandlingen af rådata til modeldata ligger i den ustrukturerede og mangelfulde tilstand, rådata ofte befinder sig under. Dette er grundlæggende et politisk og administrativt problem. En centraliseret og mere anvendelig struktur af vandindvindingsdata ville være en kraftig forbedring af adgangen til datagrundlaget.
- Der endnu ikke er kommet gang i arbejdet med skalering udover nogen mødeaktivitet. De indledende overvejelser viser, at de største problemer formentlig vedrører bestem-

melsen af potentialer i de øverste magasiner. Dette viser DK-modellen og dette viste det tidligere Uncertainty-projekt udført bl.a. med deltagelse af DHI og GEUS. Blandt overvejelserne er, at et mål med skaleringsarbejdet kunne være en sammenlægning af de enkelte delmodeller i DK-modellen. F.eks. kunne de tre delmodeller, der udgør Sjælland, forsøges sammenlagt til en Sjællandsmodel.

- Der er indledt et samarbejde med Kenneth Kipp, USGS, Denver, Colorado, for at kunne løse opgaven med densitetspåvirket strømning. I korte træk vil arbejdet blive gennemført som et kald fra MIKE SHE til modellen HST3D, der kan håndtere densitetspåvirket strømning. HST3D adskiller sig fra MIKE SHE ved at benytte et punktfikseret netværk i stedet for et cellebaseret. Baggrunden for koblingen er en antagelse om en lineær sammenhæng mellem densitet og koncentration, hvilket formentlig ikke er problematisk under danske forhold, hvor havets saltkoncentrationer ikke er så høje. Metoden er blevet accepteret af GEUS. Programmeringen vil starte til efteråret og forventes færdiggjort i foråret 2000.
- Blandt ad-hoc udviklingen af MIKE SHE moduler er indtil videre udviklet en integreret stationær løsningsrutine til MIKE SHE strømningsmodel (OC, UZ og SZ). Den stationære løser er integreret således, at det er muligt at udføre en stationær simulering i et modelområde, hvor overfladehydrologien spiller en vigtig rolle. Desuden er overgangen fra en stationær simulering til en transient simulering gjort så sømløs som muligt. Den integrerede stationære strømningsløser giver den fulde fysiske beskrivelse af strømmingen i grundvandszonen. Der kan fastholdes en konstant vandstand i alle celler på overfladen og en konstant vandstand i alle flod-knudepunkter evt. med distribuerede værdier udtrykket fra tidligere MIKE 11 (DHI's flodmodel) simulering. GEUS har haft nogle problemer med afprøvningen af den stationære løser. Efter et par veloverståede simuleringer med Vårby Å opsætningen er geologien blevet revideret og efterfølgende har der ikke kunnet opnås konvergens. DHI arbejder på at løse dette problem og det må bemærkes, at der ikke har været problemer ved kørsel af den stationære strømningsløser for DK-modellen for Fyn.
- Det eksisterende MIKE SHE vandbalancemodul er blevet videreudviklet og er nu klart forbedret på to fronter. For det første sætter det nye vandbalancemodul brugeren i stand til at kunne foretage en vandbalanceberegning på et vilkårligt delopland af en given MIKE SHE modelopsætning. Dette kan være meget praktisk, f.eks. ved undersøgelse af svage områder i en modelopsætning. For det andet er fremstillingen af vandbalancen kraftigt forbedret, med mulighed for at illustrere vandbalancen som tabeller, tidsserier, kort eller som en systematisk figur. Sidstnævnte er et væsentligt fremskridt, når det gælder om at få overblik over den samlede vandbalance. GEUS er i gang med afprøvningen af vandbalancemodulet. Intensionen er at afprøve vandbalancemodulet på modellen for Vårby Å dels til den totale vandbalance, men i høj grad også til balance for deloplande. DHI er for tiden ved at ved inkludere vandbalance for vandløb.
- Der er endvidere udviklet nogle nye faciliteter til MIKE SHE partikelbanemodul. Det er nu muligt at lagre alle oplysninger om de enkelte partikler til ethvert tidspunkt. Partikler, kan nu indtræde i eller forlade systemet via henholdsvis kilder og dræn fra alle steder i det hydrologiske kredsløb (over randen, gennem den umættede zone, fra vandløb,

etc.). Endvidere kan nu alle zoner, der ønskes overvåget, specificeres som registreringszoner. GEUS tester i øjeblikket partikelbanemodulet og DHI er ved at gennemføre modelverifikation.

## **Delprojekt IV – Videnopbygning**

Videnopbygning er centreret omkring følgende temaer:

- Grundvandsdannelse og beskyttelse (PhD studie)
- Opstilling af hydrogeologisk model (koncept for Øerne og Jylland)
- Udveksling mellem grundvand og vandløb
- Regional kortlægning af geologi (Glacialtektonisk variabilitet og geofysisk kortlægning)
- Validering af modelopstilling (invers modellering og aldersdatering)
- Skalering (detaljeret af topografi, vandløbssystem og geologi)

PhD studie (se nedsivningsmetoder ovenfor).

*Opstilling af hydrogeologisk model er for Øerne baseret på lagdata fra GEUS's boringsdatabase ZETA og udtegnede V-Ø profiler med henblik på et første overblik af de vandførende lag. Derpå er fordelingen af filterintervallerne undersøgt for at give indblik i de vandførende sandlags fordeling inden for f.eks. et Atlasblad. Ud fra disse oplysninger samt tidligere undersøgelser er der opstillet en hydrogeologisk tolkningsmodel, d.v.s. en arbejdshypotese for hvordan strømmingen i grundvandssystemet foregår. Den hydrogeologiske model er derfor **ikke** en sædvanlig geologisk/stratigrafisk model, men derimod en opdeling af geologien på grundlag af vandførende egenskaber. Efter de indledende forberedelser skal geologien tolkes. Det er valgt at gøre dette på grundlag af basisdatakort (cirkeldiagramkort). Ud fra UTM-nettet er området opdelt i et 2x2 km net og i midten er der indsat en fiktiv boring (Grid boring), som er tolket ud fra den konceptuelle model og de boringer der ligger inden for kvadratet. Derpå overføres data til den numeriske grundvandsmodel MIKE SHE hvorefter laggrænserne interpoleres, og der tilknyttes hydrauliske parametre til de enkelte modellag. Endelig er oplysninger fra PC-ZEUS anvendt til kvalitetssikring og som analyse af sandlinser i lerlagene, der efterfølgende er implementeret sammen med den glacialtektoniske variabilitet.*

*For Jylland er valgt et andet koncept, idet opbygning af de Miocæne aflejringer er for irregulær til opdeling i lag gældende for hele området. Det er derfor valgt at benytte en metode, hvor geologien bliver tolket i kasser på 1000x1000x10 meter. Som for Øerne opstilles først en hydrogeologisk tolkningsmodel. Derpå trækkes de geologiske laggrænser ud af boringsdatabase ZETA og databehandles, og der laves en datafil for alle 10 meter sektioner. Denne datafil indeholder punkt oplysninger om geologien i 10 meter sektionen opdelt i 9 klasser: Kvartær ler, kvartær sand, miocæn kvartssand, miocæn glimmersand, prækvartær ler og kalk samt undefineret sand, ler eller andet. Data importeres som punkter i ARCVIEW, hvor geologien tolkes interaktivt i et 1000x1000 meter net. Der dannes slutlig T2-datafiler til MIKE SHE grundvandsmodellen, hvor geologien er opdelt i de ovennævnte 6 første geologiske klasser.*

*Udveksling grundvand og vandløb.* På Fyn belv det fundet, at de største udstrømninger af grundvand (baseflow) til vandløb finder sted, hvor der er god hydraulisk kontakt mellem et regionalt vandførende lag og vandløbet. På grundlag af analyser med DK-modellen for Fyn (Dahl et al., 1998) er det konkluderet, at beskrivelsen af udvekslingen mellem grundvand og vandløb forbedres væsentligt ved distribuering af lækagekoefficienter under vandløb. Distributionen blev foretaget på grundlag af en konceptuel model, i hvilken udstrømningen af grundvand til vandløb (repræsenteret ved medianminimum afstrømning) afhænger af vandløbets underlejrende geologiske lags hydrauliske ledningsevne og tykkelse. Vandløbene blev inddelt i tre klasser på grundlag af medianminimum afstrømning per løbende km vandløb for områder med sammenlignelige værdier. De tre klasser var følgende:

- 1) Vandløbsområder med lille baseflow ( $< 1$  l/s/km), der overlejrer leret till.
- 2) Vandløbsområder med middel baseflow (1-7 l/s/km), der overlejrer en blanding af leret till og sand.
- 3) Vandløbsområder med stor baseflow ( $> 7$  l/s/km), der overlejrer sand.

Sjælland er i langt højere grad end Fyn påvirket af grundvandsindvinding. Medianminimumafstrømningen er derfor på dele af Sjælland en mindre god indikator for den naturlige mængde baseflow og dermed kontakten mellem grundvand og vandløb, for de enkelte vandløbsstrækninger. Den konceptuelle model for udstrømningen opstillet for Fyn er derfor overført til Sjællandsmodellen på den måde, at distribueringen af lækagekoefficienten her baseres på tilstedeværelsen af en direkte kontakt mellem vandløb og et underlejrende vandførende lag (i de fleste områder lag 3 eller 5, men enkelte steder lag 7 eller 9). Da den geologiske model kun omfatter sand- og lerlag er der kun anvendt to klasser af lækagekoefficienter i Sjællandsmodellen. Der er afprøvet forskellige afgrænsningsmetoder (jf. GEUS rapport 1998/109). Den valgte metode afgrænser områder med god kontakt ved at vandløbsbunden og toppen af det underlejrende sandlag er sammenfaldende. For Jylland er der i forbindelse med en regional model for Sneum å ligeledes foretaget en distribuering af lækagekoefficienten i tre klasser på baggrund af en nærmere vurdering. Der vil blive arbejdet videre med distribuering af lækagekoefficienter i forbindelse med opstilling af DK-model for Jylland.

*Regional kortlægning af geologi. Glaciale tektonisk variabilitet.* Der er for Fyn og Vestsjælland foretaget en kortlægning af glacial tektonisk variabilitet baseret på daglokalitetsbeskrivelser og borer og geologiske kort og glacial morfologiske analyser. I Vestsjællands Amt er der udpeget en række områder med moderat og høj grad af glacial tektonisk variabilitet. Alle områderne er morfologisk veldefinerede landskabsformer. Forstyrrelserne på Røsnæshalvøen og i Odsherredbuerne repræsenterer to forskellige typer af glacial tektoniske komplekser. På Røsnæs halvøen indgår prækvartært plastisk ler som et vigtigt element. Skiverne af disloceret plastisk ler styrer i høj grad den strukturelle opbygning af komplekset, hvor de definerer en markant anisotropi. Odsherredbuerne er derimod mere komplekst sammensat, idet der både er sket opskydning af flager af prækvartært ler og interglacialt marint ler, og der er aflejret store mængder af glacialt materiale. Odsherredbuerne er således mere kaotisk opbygget (GEUS rapport 1998/109). Der er forsøgsvist foretaget en parameterisering af "tektonik-linser" med antagelse om at den horisontale ledningsevne i sandlag er 5-10 gange mindre end i sandlag i områder uden variabilitet, hvorimod den vertikale ledningsevne i lerlag i områder med variabilitet, er antaget 5-10 gange

større, i forhold til lerlag i områder uden variabilitet. Kalibreringskørsler med DK-modellen med disse antagelser har vist, at man ved parameteriseringen er nødt til at inddrage en skelnen mellem de geologiske forskelle i relation til eksempelvis situationen for Røsnæs og Odsherredbuerne. I Røsnæs området er observeret stor vertikal potentiale-gradient, jf. sammenhængende lag af plastisk ler (DK-modellen simulerer for stor en grundvandsdannelse og for lavt et trykniveau i de øvre lag i forhold til målte værdier). For Odsherredbuerne har DK-modellen simuleret et for højt potentiale i forhold til observationer. Ved fastsættelse af parametre bør der derfor foretages en opdeling i forhold til de hydrauliske egenskaber og ikke blot i kategorierne lille, moderat og stor glacialtektonisk variabilitet. Det er planen at analysere problemerne med Røsnæs/Odsherred yderligere i forbindelse med validering af modellen for Vestsjælland.

*Geofysik i Sønderjylland.* Den geologiske opbygning af undergrunden lokalt og regionalt er grundlaget for opsætningen af DK-modellen. Nye kortlægningsmetoder og undersøgelser forbedrer løbende kendskab til Danmarks geologiske opbygning, og kan inddrages ved opsætningen af DK-modellen. I øjeblikket arbejdes med at vurdere og demonstrere hvordan oliegeologiske kortlægningsmetoder, primært geofysik og sekvensstratigrafi (f.eks., Dybkjær og Rasmussen, 1998); kan og bør inddrages ved fastlæggelsen af den overordnede eller regionale geologiske model. Foreløbige resultater af dette arbejde vil blive præsenteret i løbet af 1999 (Hinsby, 1999; Hinsby et al., 1999a).

Øvrige Referencer vedr. sekvensstratigrafi:

Dybkjær, K. og Rasmussen, E.S. Sekvensstratigrafi. Temanummer: Geologi – Nyt fra GEUS, 2, 1998.

Hinsby, K.; Rasmussen, E.S., Knudsen, C. og Dybkjær, K. Geofysik og sekvensstratigrafi anvendt i vandressource kortlægning. Under forberedelse til Vandteknik, 1999a.

*Validering af modelopstilling (invers modellering og aldersdatering).* For udvalgte lokal områder f.eks. oplandene til Vårby Å og Karup Å undersøges parameterbestemmelsen nærmere. De opnåede resultater skal være med til at belyse, hvor godt parameterfastsættelsen i den nationale vandressource model kan påregnes at være. Ved hjælp af invers modellering kalibreres de lokale modeller mod målinger af trykniveau og medianminimumsafstrømning, og det undersøges, hvilke parametre der er specielt følsomme overfor målingerne. Samtidigt beregnes hvor godt parametrene er bestemt, og om de er korrelerede. Indledende undersøgelser for en lokal model har påvist meget lange beregningstider for invers modellering med en ikke-stationær grundvandsmodel. Det påtænkes derfor at fokusere på stationære forhold i undersøgelsen ved hjælp af den nyudviklede stationære løser for MIKE SHE.

*Aldersdatering af grundvand* er en af de væsentligste og mest anvendte metoder til kalibrering og test af grundvandsmodeller. For at kunne inddrage også dybere dele af grundvandsmagasinerne, hvor menneskets påvirkning endnu ikke kan registreres i grundvandskvaliteten, er det nødvendigt at have dateringsmetoder, der dækker et bredt spektrum af grundvandsaldre. Eksempelvis er det i Danmark hensigtsmæssigt at kunne konstatere og datere grundvand, der er infiltreret under sidste istid, ved hjælp af kulstof-14. Til det unge forurenede grundvand, der giver anledning til de største problemer er blandt andet CFC gasserne og tritium ( $^3\text{H}$ ) væsentlige dateringsredskaber. GEUS arbejder i øjeblikket på mange fronter for at vurdere og illustrere anvendelsen af disse metoder til datering af ungt grundvand (f.eks. Hinsby, 1999; Hinsby et al., 1999b,c). Et stort antal grundvands- og vandløbsprøver fra Odense Vandselskab udtaget i perioden 1963-1995 afventer for

tiden  $^3\text{H}$  analyser. En ansøgning er sendt til det Internationale Atom Energi Agentur (IAEA) i Wien, der administrerer et globalt netværk af monitoringsstationer, der registrerer isotoper i nedbør, om analyse af disse prøver. Tidligere i år modtog GEUS resultater fra  $^3\text{H}$  analyser fra IAEA på ca. 65 nedbørsprøver fra Odense (Linderberg og Hinsby, 1999), resultaterne fra disse forventes at blive sammenholdt med fremtidige resultater for  $^3\text{H}$  i grundvandet ved to borer og i Odense å, og anvendt ved kalibrering af en lokal DK-model. Herefter er der mulighed for at sammenholde disse resultater med aktuelle målinger af CFC-gasser i de nævnte borer.

Øvrige Referencer vedr. aldersdatering:

Hinsby, K., Harrar, W.G., Laier, T., Højberg, A., Engesgaard, P., Jensen, K.H., Larsen, F., Boaretto, E. & Heinemeier, J. Use of isotopes ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) and CFC's for the analyses of groundwater flow and transport dynamics: selected case and modelling studies from sand aquifers and a deep clay aquitard in Denmark. International Atomic Energy Agency, *Use of isotopes for analyses of flow and transport dynamics in groundwater systems*, IAEA-TECDOC, Vienna, in press, 1999b.

Hinsby, K., Edmunds, W.M., Loosli, H.H., Manzano, M., Melo, M.T. og Barbecot, F. The modern water interface: recognition, protection and development – Advance of modern water into European aquifers. Geol. Soc. Spec. Publ., in prep., 1999c.

Linderberg, J. og Hinsby, K. Tritium i Odense nedbør 1963-1995. Under forberedelse til Vandteknik, 1999.

**Skalering.** Der er arbejdet med skaleringsproblematikken i forbindelse med opstilling af lokalmodeller for bl.a. Nyborg og Vårby Å oplandene. Det har på baggrund af disse indledende undersøgelser vist sig at en yderligere detaljering af såvel topografi, vandløbssetup og geologi kan forbedre modellens beskrivelse af potentialeforhold og afstrømning, specielt potentialeforhold i de øvre sekundære grundvandsmagasiner samt afstrømningshydrografer. I Vårby Å oplandet var det en fordel at kunne anvende DK-modellen ved fastlæggelsen af randbetingelser for modellen (der forelå relativt få data). Det var desuden umiddelbart muligt at anvende de samme parameterverdier for detailmodellen som var bestemt for modellen for DK-model Sjælland. To forskellige numeriske modeller med en maskevidde på 250 m, dels med en geologisk model interpoleret ud fra DK modellen incl. en forbedret topografi og vandløbssetup, dels med en geologisk model opstillet ved en retolkning af samtlige borer i Vårby Å oplandet og med de samme forbedringer i topografi og vandløbssetup, blev testet. Testen viste at den retolkede geologiske model gav en lidt bedre beskrivelse af potentialet i det øvre sekundære magasin, men en væsentlig forbedret beskrivelse af minimumsafstrømningen i vandløb for de enkelte delstrækninger. Valget af geologisk model havde desuden betydning for afgrænsningen af grundvandsdannende oplande til to udvalgte større kildepladser (Henriksen, Trolborg og Nyegaard, 1999).

Projektet har desuden stillet dataloggere og andet udstyr til rådighed til et PhD studie (Thomas Schrøder, ISVA) under vejledning af prof. Eggert Hansen (ISVA) og PhD Mette Dahl, GEUS, i et delopland til Vårby å på Sydvestsjælland. Projektet omfatter en detaljeret analyse af potentialeforhold og grundvandsdannelse i de sekundære magasiner samt afstrømningsforløb herfra til vandløb.

Projektet har desuden leveret data og modelsetup filer for et delopland på Fyn i forbindelse med et eksamensprojekt på DTU/ISVA (vejleder Dan Rosbjerg, ISVA). Mouritsen, Birgitte og Munk Pollas, Kristine (1999).

Der er planer om et yderligere eksamensprojekt i efteråret 1999 for DTU/IGG (kontaktperson Flemming Larsen, IGG) omkring hydrogeologisk tolkningsmodel og opstilling af numerisk model for delområde på Bornholm.

## **EVALUERING OG TEMAMØDER**

### **Styregruppen**

Sektorforskningsudvalget er jf. projektkontrakten styregruppe for projektet. Styregruppen har ikke spillet noget aktiv rolle i projektforsløbet. Departementet er løbende blevet orienteret om projektets fremdrift, bl.a. i årsrapport (GEUS rapport 1997/50) og ved efterfølgende korrespondance (Temanummer om vandressourcer og i forbindelse med rapportering for Fyn). Nærværende midtvejsrapport vil sammen med evalueringspanelets rapport fra midtvejsvaluering blive fremsendt til sektorforskningsudvalget til orientering.

### **Følgegruppen**

Der er afholdt en række møder i følgegruppen. I 1996 blev der afholdt 2 møder, i 1997 et møde, i 1998 et møde og i januar 1999 et møde.

På møderne i 1996 har følgegruppen vurderet at der var behov for en nærmere aftale om vilkår for udlevering af modelsetup, fx til videre brug i amterne. Følgegruppen konkluderede også at amterne burde indbydes til at deltage i følgegruppens arbejde. På et efterfølgende temamøde december 1996 var der dog ikke nogen udpræget interesse fra amternes side i at gå ind i følgegruppen, hvorimod der var interesse for etablering af en arbejdsgruppe med deltagelse fra amterne. Ligeledes var amterne meget interesserede i at få nedfældet principper for udveksling af modeldata fra DK-modellen på skrift.

På følgegruppemødet i 1997 blev der fulgt op på aftalen vedr. udveksling af modeldata (jf. bilag 1) og den etablerede arbejdsgruppe for Sjællands modellen. Følgegruppen forespurgte desuden vedr. status for Ph.D.-projekt, hvad arealanvendelse via satellit omfattede, status for pejlestationsnet/on-line registrering, kvartårige nyhedsbreve, nedslivningsberegninger, kalibrering og ændringer i tidsplan.

Det seneste følgegruppemøde blev afholdt i januar 1999 efter at rapporteringen for Sjælland forelå. Det vurderes at følgegruppen i perioden 1996-98 har spillet en konstruktiv rolle i projektforsløbet og påpeget væsentlige spørgsmål som senere er blevet taget op og søgt løst i det videre projektforsløbet.

Pr. januar 1999 er der sket en ændring af deltagerne i følgegruppe. Det er desuden besluttet at indbyde DHI til fremover at deltage i følgegruppens møder, idet der herved sikres en bedre informationsudveksling vedr. MIKE SHE udvikling.

Deltagere i følgegruppen er pr. maj 1999 ændret til:

Lise Dalsgaard, Forskningscenter for Skov- og Landskab  
Lene Holm, Skov- og Naturstyrelsen  
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser  
Bente Villumsen, Miljøstyrelsen  
Aksel Mortensgaard, Energistyrelsen  
Anders Refsgaard, Dansk Hydraulisk Institut  
Bjarne Madsen, GEUS  
Hans Jørgen Henriksen, GEUS

### **Arbejdsgrupper med deltagelse af amter og vandforsyninger**

Der har været afholdt møder med Fyns amt i forbindelse med modelopstilling i perioden 1996-97.

I forbindelse med Sjællandsmodellen har der været afholdt i alt 3 møder i 1997 med deltagelse af Roskilde, Vestsjælland, København, Frederiksborg, Storstrøm amter samt Københavns og Frederiksberg kommuner og Københavns og Gentofte vandforsyninger. Efter det første møde blev der udarbejdet den i bilag 1 viste skriftelige aftale vedr. udveksling af modeldata fra DK-modellen. Et andet spørgsmål der har været rejst fra amternes side, har været GEUS's planer for vedligeholdelse af DK-modellen. Det har ikke været muligt at give et klart svar på dette spørgsmål idet der ikke har foreligget nogen afklaring af om hvordan DK-modellen's vedligeholdelse og opdatering tænkes gennemført fra år 2000 og frem. Der har været afholdt i alt 2 møder med de Sjællandske amter i 1998. På et møde i september 1998 blev foreløbige resultater og rapportudkast fremlagt til kommentering. Der blev også her taget hul på diskussionen af hvorvidt amterne kunne bidrage med ressourcer til simuleringer. En nærmere afklaring heraf er dog endnu ikke nået, og afventer politiske beslutninger vedr. omfanget af det fremtidige samarbejde vedr. Vandplan Sjælland.

Der har desuden været afholdt et opstartsmøde med de Jyske amter i 1998.

Arbejdsgrupperne med Sjællandske og Jyske amter har vist sig at være et konstruktivt bidrag i forbindelse med opstilling af den Nationale Vandressource Model. Deltagelsen fra amterne og vandforsyninger sker primært i form af:

- Levering af inddata som ikke i forvejen ligger hos GEUS
- Konsensus vedr. den geologiske model
- Kommentering af opstillet og kalibreret model
- Input til simuleringsscenarier

De data som amterne kan levere og som GEUS ikke i forvejen får indberettet i tilstrækkeligt omfang er bl.a. Regionplansmateriale bl.a. temakort, eksisterende rapporter og undersøgelsesresultater (hydrogeologisk kortlægning), supplerende data vedr. vandløbssystemer (fysiske data, opmålinger etc.), oplysninger om vandindvinding, mere detaljerede oplysninger

ger fx månedsværdier, fordeling af indvindinger på forskellige kildepladser, boringer, filtre og pejledata.

Der er desuden blevet rejst en række konstruktive spørgsmål og forslag til det videre projektforsøg. Blandt meget andet har de Sjællandske amter givet input til opdeling på vandbalanceoplande men også rejst spørgsmål om hvorvidt fx de tre delmodeller for Sjælland evt. kan kombineres til en samlet model for Sjælland.

### **Øvrige temamøder**

DK-modellen har været præsenteret ved en række temamøder og øvrige møder i perioden 1996-98:

- David møde i januar 1996 hvor projektets baggrund og indhold blev præsenteret for amterne
- Temamøde 4. December 1996 med 55 deltagere fra amterne, større vandforsyninger, GEUS, DMU og DHI
- ATV møde 8. Oktober 1997. Indlæg om afprøvning af zoneringsmetoder i 3 områder bl.a. baseret på lokalmodeller opstillet i forbindelse med DK-modellen (Henriksen, 1997)
- Vandværkernes årsmøde i 1998 (Madsen og Henriksen, 1998). Indlæg om DK-modellen ved Bjarne Madsen
- Møde på DMI i forbindelse med etablering af klimacenter ved DMI i april 1998, hvor der blev givet et indlæg om DK-modellen
- IDA miljø/DVK møde i maj 1998 hvor Bjarne Madsen gav et indlæg om Danmarks vandressourcer som også omfattede baggrund for DK-model

### **FREMDRIFT OG ØKONOMI**

Oprindeligt var projektperioden berammet til 1996-99. I løbet af 1998 blev projektet dog forlænget til afslutning i løbet af år 2000. Det blev vurderet, at den forsinkelse som primært var oparbejdet i opstartsfasen, ikke kunne indhentes med de ressourcer der var til rådighed hos GEUS.

Der er i perioden 1996-98 anvendt godt 2/3 af de samlede afsatte ressourcer til projektet. DK-modellen er i denne periode opstillet for Fyn, Sjælland, Lolland, Falster, Møn og Sønderjylland (for Sønderjylland er geologi og overflademodul opstillet men kalibrering er ikke påbegyndt). Fremdriften er derfor ikke helt på højde med ressourceforbruget. For at begrænse et yderligere ressourceforbrug til den etapevise modelopstilling er modelopstillingen for Jylland søgt optimeret (bl.a. med anvendelse af nyt koncept samt GIS til opstilling af geologisk model, udvikling af stationær løser til optimering af kalibreringsproceduren og videreudvikling af vandbalance modul til brug ved ressourcevurderinger).

Der skønnes derfor på nuværende tidspunkt at være behov for tilførsel af yderligere ressourcer til projektet, udover det der allerede er afsat jf. projektkontrakten, såfremt målsæt-

ningen om en landsdækkende model, et antal artikler i videnskabelige tidsskrifter, vurderinger af Danmarks udnyttelige vandressource, reorganisering af pejlestationsnet, kvartalsvis nyhedsbrev (via hjemmesiden) og et afslutningsseminar i år 2000 skal udføres med det nuværende ambitionsniveau for projektets udførelse.

PhD studiet er desuden først igangsat i maj 1999. Der er derfor ligeledes behov for sikring af de nødvendige ressourcer til gennemførelsen af den sidste del af dette studie, såvel hvad angår tidsforbrug som udlæg til eventuelle feltaktiviteter. DK-modellen kan dække behovet for ressourcer til PhD studiet til og med år 2000, men ikke for de sidste 1 1/2 år (2001 og 2002).

Nedenfor er ressourceforbruget i perioden 1996-98 vurderet for de enkelte delaktiviteter. Det skal bemærkes at det anførte forbrug ikke indeholder de aktiviteter der finansieres af Erhvervsfremmestyrelsen til MIKE SHE udvikling (de 4 moduler) og heller ikke indeholder GEUS's bidrag til 10 on-line pejlestationer.

Langt det største forbrug er anvendt på den etapevise modelopstilling (ca. 50 % af det samlede ressourceforbrug i de tre første år af projektet). Der er brugt flere ressourcer end oprindeligt budgetteret til denne aktivitet. Det vurderes at årsagerne hertil dels har været at der først har skulle opbygges et anvendeligt koncept på stor skala og dernæst at dette koncept løbende har skullet tilpasse de relativt varierende geologiske forhold i Danmark. Det har vist sig at være nødvendigt at arbejde med en maskevidde på 1x1 km som er relativt detaljeret. Dette var ikke på forhånd givet. Begrundelsen har været at en grovere model ikke i tilstrækkelig grad vurderedes at være i stand til at beskrive den regionale fordeling i grundvandsdannelsen til magasiner i forskellig dybde og udveksling mellem grundvand og fx vandløb (på grund af variationerne i topografi og geologi). Vi har desuden forsøgt at imødekomme de administrative styrelsers behov for rådgivning i den politiske proces, bl.a. ved at konceptualiseringen har skullet udvikles i retning af også at tilgodese behov i forbindelse med bl.a. zonerings og grundvandsbeskyttelse.

Dernæst følger udlæg som i alt udgjorde ca. 25 % af det samlede ressourceforbrug i perioden 1996-98. Udlæg til pejlestationer (bl.a. dataloggere) udgør den største enkelte udlægspost (ca. halvdelen af samtlige udlæg). En anden større udlægspost har været udlæg til DHI's og DMU's aktiviteter (disse udgjorde samlet ca. 1/3 af samtlige udlæg).

## **ÆNDRINGER I PLANLAGTE AKTIVITETER FOR 1999-2000**

*Ph.D.-studie.* Da Ph.D.-studiet først igangsættes medio 1999 er der behov for finansiering fra anden side til sidste halvdel af Ph.D. studiet (fx GEUS basismidler for perioden 2001 og 2002).

*Arealanvendelse via satellitdata.* Det forventes at de resterende midler anvendes i løbet af 1999 og 2000 bl.a. i forbindelse med en test af de nyudviklede GIS værktøjer til MIKE SHE for et udvalgt lokalmodel område, hvor der foreligger mere detaljerede arealanvendelsesdata fra DMU (1:25.000 AIS data). Aktiviteten forventes reduceret i forhold til det oprindelige budget.

*Etapevis modelopstilling.* For 1999 og 2000 må forventes et forbrug af omtrent samme omfang som i 1997 og 1998 til geologisk model, selvom det så vidt muligt forsøges at effektivisere opstillingen af den geologiske model ved anvendelse af et nyt koncept (GIS baseret tolkning i 10 meter intervaller). De geologiske forhold i Nordjylland og på Bornholm bevirker således at den hydrogeologiske tolkningsmodel anvendt på Syddjylland fortsat må videreudvikles og tilpasses de styrende strømningsforhold på stor skala. Det samme gælder fastsættelsen af parametre til den numeriske grundvandsmodel. Der er antageligt behov for yderligere finansiering af tidsforbrug til modellør og geolog i år 2000, udover de ressourcer der er afsat jf. projektkontrakten.

*Lokalmodeller.* For projektperioden som helhed 1996-2000 forventes ingen ændringer i forhold til det oprindeligt planlagte.

*Ressourcevurderinger.* Da der allerede er forbrugt lidt flere ressourcer end oprindeligt beregnet, forventes det, at der skal tilvejebringes yderligere ressourcer til ressourcevurderinger. Det er uafklaret hvorvidt projektets interessenter kan eller vil bidrage med ressourcer til simuleringsscenerier. Fra hydrogeologer i amterne er der tilkendegivet positiv interesse for at kigge nærmere på muligheder for at deltage i denne del af modelarbejdet, idet det også på dette punkt er vigtigt, så vidt muligt at sikre konsensus vedr. vurderinger af ressourcens størrelse og udnyttelighed. Udover amterne er øvrige sektorforskningsinstitutioner og styrelser i Miljø- og Energiministeriet potentielle "kunder" i forbindelse med anvendelse af DK-modellen til landsdækkende ressourcevurderinger.

*Modeldatabase.* Der er foretaget en etablering af en hjemmeside ([www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk)) hvor der findes oplysninger om modelopstilling (bl.a. Sjællandsrapport, vejledning i kvalitetsdokumentation etc.), ressourceovervågning (udvalgte pejletidsserier), MIKE SHE udvikling og videnopbygning (artikler mm.). Der er behov for tilførsel af yderligere ressourcer til denne hjemmeside såfremt der skal ske en yderligere opgradering med nye faciliteter (fx vandbalancer, grundvandsdannelse til samtlige modellag, geologisk model etc.). Det er endnu for konkludere på de erfaringer der er gjort af den etablerede hjemmeside og behov for videreudvikling (herunder målgrupper). Hjemmesiden forventes løbende udbygget, i det næste års tid. Herefter kan der være behov for at overveje en større opgradering incl. finansieringsmuligheder.

*Kravspecifikation af pejlestationsnet.* For projektperioden som helhed 1996-2000 forventes et samlet forbrug på lidt over det oprindelige budget. Forøgelsen skyldes bl.a. at der har været brugt tid på omlægning af pejledatabase til Jupiter og on-line stationer, som ikke var budgetteret.

*Evaluering og temamøder.* Et afslutningsseminar i år 2000 når vil være en god idé, men ressourcer til planlægning, sekretariat mm. bør søges finansieret fra anden side, så det ikke belaster projektet yderligere.

*Aldersdatering.* For projektperioden som helhed 1996-2000 forventes ingen væsentlige ændringer i forhold til det oprindeligt planlagte. Ressourcer til yderligere analyser søges så vidt muligt finansieret fra andre kilder.

*Udlæg.* Det samlede udlægsbudget forventes reduceret lidt i forhold til det oprindelige budget, således at der frigøres så mange ressourcer som muligt til den etapevise modelopstilling. Det skal bemærkes at GEUS har finansieret on-line stationsnet med 10 stationer udover ovenstående budget.

Samlet vurderes det således, at der er behov for at opnå yderligere finansiering på honorardelen. Skønsmæssigt er der behov for en samlet ressource som svarer til forbruget i 1998 til fordeling mellem følgende aktiviteter: a) Etapevis modelopbygning, b) PhD studie (2001-2002), c) Artikler i internationale tidsskrifter, d) Ressourcevurderinger, e) Opgradering af hjemmeside (www), f) Afslutningsseminar i år 2000 og g) Reorganisering af pejlestationsnet.

Derudover kan komme et ressourceforbrug til omlægning af pejledatabasen til Jupiter som forventes finansieret fra anden side.

Drift og vedligeholdelse af DK-modellen fra år 2001 og frem er ikke omfattet af nærværende omkostningsoverslag. Det skal afklares hvilke principper der skal gælde for finansiering af DK-modellens vedligeholdelse fra 2001 og frem.

## **PUBLIKATIONER**

De refererede postere, artikler, konferencebidrag og rapporter vedlægges ikke men kan rekvireres.

### **Postere**

Henriksen, H.J. and Troldborg, L. (1999): *National Water Resources Model*. DHI Userkonference, 7-11 juni, 1999 (accepteret).

Henriksen, H.J. og Troldborg, L. (1999): *National Vandressource Model*. ATV Vintermøde i Vingsted, 9-10 marts, 1999.

Rasmussen, P. and Henriksen, H.J. (1998): *Groundwater Protection Zones by Quantitative Vulnerability Mapping*. IAH. International Groundwater Conference 1998. Proceedings. Groundwater: Sustainable Solutions. University of Melbourne, Australia, 8-13 February, 1998. Editors: T.R. Weaver and C.R. Lawrence. pp. 863-868. Desuden præsenteret ved ATV Vingstedmødet i 1998.

Henriksen, H.J. (1996): *Danish National Water Resource Model, describing the link between the Danish Groundwater Monitoring Programme and national groundwater modelling to be carried out in 1996-99*. Nordic Hydrological Conference 1996. Akureyri, Iceland, 13-15 August 1996.

### **Videnskabelige artikler publiceret i internationalt anerkendte tidsskrifter**

Dahl, M., W.G. Harrar, H.J. Henriksen, and C. Knudby (1998): *Integrated hydrological modelling of fresh-water resources in Denmark – Distribution of aquifer – river exchange parameters* (Accepted for publishing in Hydrogeology Journal; April 1999).

Madsen, B., H.J. Henriksen, and C. Knudby (1998): *The National Water Ressource Model – Developed for the assessment of the distribution and protection of the Danish groundwater resources*. (Submitted til "Hydrogeology Journal" – under review).

### **Videnskabelige artikler publiceret i proceedings med review**

Madsen, B., H.J. Henriksen, and C. Knudby (1998): *The National Water Ressource Model – Developed for the assessment of the distribution and protection of the Danish groundwater resources*. IAH/AIH joint conference: Gambling with Groundwater – Physical, Chemical, and Biological Aspects of Aquifer – Stream Relations. Ed. Brahana et al., pp. 219-226.

Dahl, M., W.G. Harrar, H.J. Henriksen, and C. Knudby (1998): *Integrated hydrological modelling of freshwater resources in Denmark – Distribution of aquifer – river exchange para-*

meters. IAH/AIH joint conference: Gambling with Groundwater – Physical, Chemical, and Biological Aspects of Aquifer – Stream Relations. Ed. Brahana et al., pp. 607-616.

T. V. Jacobsen og M. Hansen (1998): *Geological modelling and editing in GIS environment*. Hydroinformatics'98, Babovic Larsen (eds). Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 983 1. pp. 525- 530 (volume 1).

Henriksen, H.J., C. Knudby, P. Nyegaard, P. Rasmussen, M. Hansen and P.R. Jakobsen (1997): *National water resources modelling in Denmark: Application of national groundwater model for the Isle of Funen*. Operational Water Management. Editors: Refsgaard & Karalis. 1997 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 897 5. pp. 277-284.

### **Videnskabelige artikler publiceret i proceedings uden review**

Henriksen, H.J., Trolborg, L. and Nyegaard, P. (1999): *National Water Ressource of Denmark (DK-model) – Milestone results by applying a large scale MIKE SHE model for the isle of Sealand and for the sub-catchment Vårby creek*. DHI Userkonference, 7-11 June 1999 (accepted).

Henriksen, H.J. and Stockmarr, J. (1999b): *Groundwater Resources in Denmark. Modelling and monitoring*. IWSA world congress, Buenos Aires, September 1999.

Rasmussen, P. and Henriksen, H.J. (1998): *MODFLOW versus MIKE SHE: Significant differences in recharge areas to selected pumping wells?* MODFLOW'98 Conference. Golden, Colorado USA. October 4-8, 1998.

Henriksen, H.J. (1998): *Climate change and available groundwater resources – the National Water Resource Model for Denmark*. Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water. Edited by Risto Lemmelä and Nea Helenius. Espoo, Finland, 17-20 August 1998. Volume 3, pp. 1459-1470.

Henriksen, H.J. and Knudby, C. (1997): *Application of MIKE SHE for the Isle of Funen*. DHI Userkonference 1997. URL: [www.dhi.dk/usercon/](http://www.dhi.dk/usercon/)

### **Konferencebidrag, foredrag med abstract i proceedings uden paper**

Jakobsen, P.R. (1997): *Galciotectonic variability and its implementation in hydrogeological models*. Field Symposium on Glacial Geology at the Baltic Sea Coast in Northern Germany. University of Kiel. The Peribaltic Group INQUA Commission on Glaciation.

Rasmussen, Per: *Integrated hydrological modelling of fresh water resources in Denmark, examples of simulating and predicting low flow situations*. Nordic Seminar on Low Flow. 19-21 November 1997, Voksenåsen – Oslo. Norwegian Hydrological Council. Report no. 4.

## Populærartikler i bl.a. danske tidsskrifter

Nørgaard, N. (1999): *Grundvand skal kortlægges*. Politiken. Søndag den 25. april 1999.

Henriksen, H.J. (1999): *Eksperiment med Østsjællands vand?*. Debatindlæg i Ingeniøren 23. april 1999.

Hinsby, Klaus (1999): *Aldersdatering af grundvand*. Danske Vandværkers Forening. Vandforsyningsteknik nr. 48 (i trykken).

Madsen, Bjarne og Henriksen, Hans Jørgen (1998): *Ressource og Sårbarhed – Danmarksmodellen*. Danske Vandværkers Forening. Vandforsyningsteknik nr. 47. Juni 1998. side 85-106.

GEOLOGI - Nyt fra GEUS, Nr. 4, 1997 *GRUNDVAND OG PESTICIDER*. Temanummer.

GEOLOGI - Nyt fra GEUS, Nr. 2, 1997: *VANDRESSOURCER*. Temanummer.

Henriksen, H.J. (1997): *Afprøvning af zoneringsprincipper i 3 områder: Simple eller modelbaserede metoder?*. ATV møde. Hotel Marselis. 8. oktober 1997.

Henriksen, H.J., Andersen, G. og Rasmussen, P. (1996): *Ekstrem lille grundvandsdannelse i 1995-96*. Vand & Jord. Nr. 4, 3. årgang, august 1996. Munksgaard. Side 152-156.

## Rapporter

Henriksen, H.J., Lars Trolborg, Christen J.Knudby, Mette Dahl, Per Nygaard, Peter Roll Jakobsen og Per Rasmussen (1998): *National Vandressource model Sjælland, Lolland, Falster og Møn*. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1998/109.

Henriksen, H.J. (1998): *Overførsel af modeldata til landsdækkende modeldatabase - Vejledning og kvalitetsdokumentation*. Danmarks Og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1998/26.

Henriksen, H.J., Christen J. Knudby, Per Rasmussen og Per Nyegaard (1997): *National Vandressource Model - Modelopstilling og kalibrering for Fyn*. Danmarks Og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1997/139.

Henriksen, H.J. og Madsen, B. (1996): *National Vandressource Model. Årsrapport – Status 1996*. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1997/50.

## Brugervejledninger til udviklede software moduler

Dansk Hydraulisk Institut (1999): *GeoEditor 1.1. A tool for Geological modelling and editing in GIS*. DHI April 1999.

## **Eksamensprojekter**

Mouritsen, Birgitte og Munk Pollas, Kristine (1999): MIKE SHE: Indvindingsoplande og arealanvendelse. Institut for Strømningsmekanik og Vandresurser. Danmarks Tekniske Universitet.

## **Hjemmeside**

Der er i første kvartal af 1999 etableret en første version af en hjemmeside for projektet på:  
[www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk)

## BILAG 1 - BETINGELSE FOR UDVEKSLING AF MODELDATA

### 1. Grundlag

DK-modellen er den nationale vandressource model som GEUS opstiller jf. kontrakt med Miljø- og Energiministeriet i perioden 1996-1999. DK-modellen opstilles som en dynamisk MIKE SHE vandressource model med en diskretisering i 1x1 km beregningskasser og i en 3D version med et antal beregningslag. Til modellen hører inddata i form af beregnede daglige infiltrationsværdier for perioden 1971-96 og oppumpninger for med årlige værdier for perioden 1985-96 (evt. med supplerende enkeltår i perioden 1971-84).

Modeldata fra DK modellen består af det 'køreklare modelsetup' dvs. de filer med proceserede og aggregerede data som er nødvendige for at foretage kørsler med modellen. Med den nuværende version af MIKE SHE modellen og med den implementering som GEUS i øjeblikket benytter fx. for Fyn og Sjælland består modeldata som GEUS kan stille til rådighed for en udveksling til brug i amterne/enhederne dermed af følgende filer:

- modelsetupfil; denne fil indeholder oplysninger som definerer modelsetup, hvilke filer der indgår, hvilke MIKE SHE moduler der indgår, hvilke data der gemmes ved kørsel, iterationskrav, samt hydrauliske parametre, lagfølger mm. (filformat: fsf-fil)
- modelberegnet nettonedbør; tidsserier med daglige værdier for udstrømning fra rodzonen for et antal typeområder defineret ud fra kombinationer af geografisk placering/jordart/arealanvendelse og topografi (filformat: T0-fil)
- oppumpningsfil; liste med samtlige oppumpninger > 25.000 m<sup>3</sup>/år med årlige tal fx. 1985-96, evt. månedsværdier hvor sådanne indgår (filformat: T0-fil)
- catchment grid fil; en randfil som GEUS forbereder ved levering af DK-modellen for et givent område, dvs. GEUS fastlægger den nærmere placering af modelranden samt valget af randbetingelser, fx. fastholdt trykniveau, "no flow" etc. på baggrund af DK-modellen (filformat: T2-fil)
- topografi fil (filformat: T2-fil)
- kodefil som beskriver hvilke grids som tilknyttes en given nettonedbørs type (filformat: T2-fil)
- drænniveau (filformat: T2-fil)
- filer som beskriver bunden af hvert regionale geologiske lag i modelområdet (et antal filer med filformat: T2-fil)
- evt. filer som beskriver distribuerede hydrauliske ledningsevner og øvrige parametre (et antal T2-filer)
- top, bund og udbredelse for geologiske linser (filformat: T2-filer)
- evt. filer som beskriver placeringen af beregningslag (filformat: T2-fil)
- randbetingelsesfil til hvert beregningslag som GEUS forbereder i forbindelse med udveksling af modeldata (T2-filer)
- starttrykniveau for hvert beregningslag (T2-filer)

- vandløbssetup data fil; som GEUS forbereder ud fra DK-modellen en fil gældende for delområdet ved at skære et passende udsnit ud og redigere dette (filformat: rdf-fil)
- drænkode fil, som beskriver hvor drænastrømningen routes hen hvis den ikke styres af drænkoter
- dræntype fil, som beskriver om drænastrømningen styres af drænkoter eller tvinges til at dræne til bestemte områder

## 2. Principper for dataudveksling

- En betingelse for at de i ovennævnte punkt 1 beskrevne dele af DK-modellen kan stilles til rådighed for eget internt brug i amtskommunerne samt Frederiksborg og Københavns kommuner (i det følgende kaldet Amtskommunerne) er at det videre modelarbejde og evt. ændringer/forbedringer af modellen for det udleverede modeludsnit leveres tilbage til GEUS med samtlige datafiler beskrevet ovenfor i elektronisk læsbart format
- Modeldatasæt må kun udleveres til tredjepart såfremt der foreligger skriftlig samtykke herom fra GEUS hvilket forudsætter at spilleregler for udveksling og indberetning af modeldata til GEUS er nedfældet i en skriftlig aftale mellem fx. en Amtskommune og dennes rådgiver, hvor rådgiver er indforstået med, at det færdigudviklede modelsetup for et delområde indberettes med ovenfor nævnte filer til GEUS, med henblik på evt. opdatering af DK-modellen ligesom samtlige filer tilhørende det udleverede modeldatasæt, leveres tilbage til GEUS.
- GEUS afgør egenhændigt hvorvidt de foretagne justeringer og opdateringer af modellen, som efter endt brug indberettes til GEUS, skønnes af en sådan kvalitet at DK-modellen efterfølgende vil blive opdateret med disse ændringer
- Tidsforbrug til udtræk, rådgivning og vejledende bistand vedr. de udvekslede modeldata er ikke omfattet af nærværende betingelse for udveksling af modeldata fra DK-modellen, men forudsættes afregnet i henhold til konsulentbistand efter forbrugt tid. Der må påregnes et vist tidsforbrug som aftales nærmere i forbindelse med hver enkelt leverance af modeldata fra DK-modellen i forbindelse med forberedelse af model catchment fil, randbetingelsesfil og vandløbssetup fil for det ønskede delområde og test af at den leverede delmodel 'kører' tilfredsstillende i forhold til DK-modellen. Tidsforbrug som GEUS benytter til at indlæse og evt. opdatere den færdige delmodel til DK modellen vil blive finansieret af GEUS

## 3. Rettigheder

GEUS har ophavsretten for DK modellens modeldata men Amtskommuner kan få stillet modeludsnit til rådighed jf. ovenfor beskrivne principper.

Modeldatasæt må kun udleveres til tredjepart (fx. Amtskommunens rådgiver eller lignende) efter at der er indhentet skriftlig samtykke hertil fra GEUS.

GEUS har den fulde ret til at publicere resultater af DK-modellen. Publicering af resultater på baggrund af udleverede delmodel-datasæt fra DK-modellen må kun ske efter skriftlig samtykke fra GEUS.

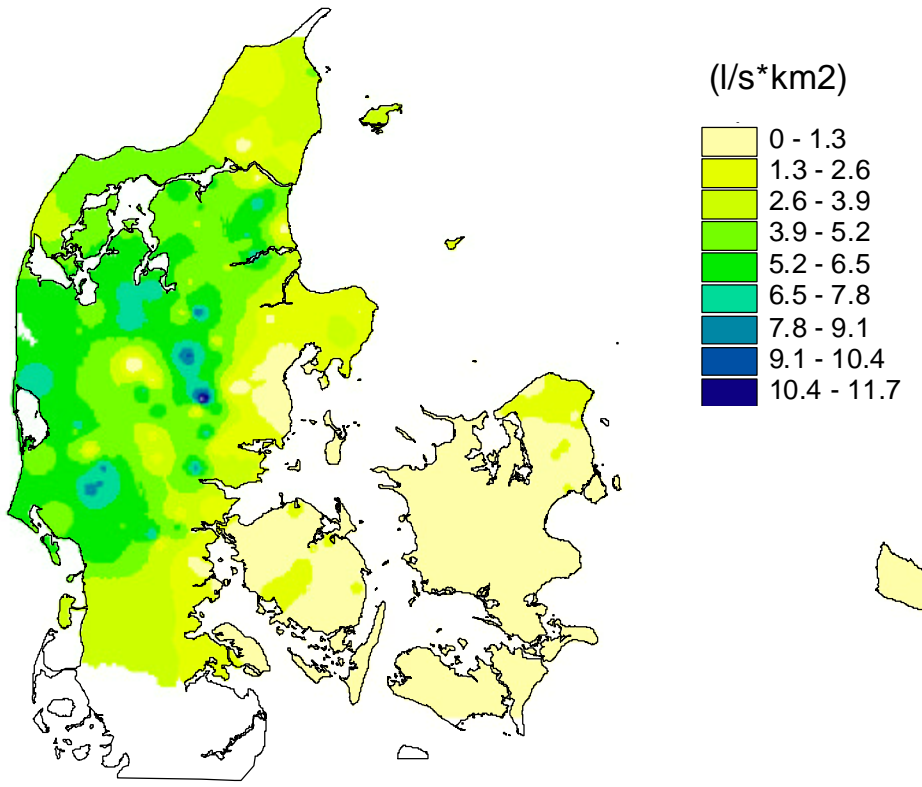
#### **4. Ansvar**

GEUS påtager sig ikke noget ansvar for følgeskader eller følgevirkninger af fejl ved model-data materialet eller ved den videre brug af dette.

#### **5. Vederlag**

Vederlag til udtræk af delmodel fra DK-modellen honoreres efter forbrugt tid i henhold til GEUS's konsulentsatser

**BILAG 2: MEDIANMINIMUMAFSTRØMNIN-  
GENS FORDELING I DANMARK.**



GEUS

Til beregning af fordelingen er anvendt data fra ca. 250 udvalgte målestationer.