

# INDHOLDSFORTEGNELSE

## 1. KONKLUSION OG SAMMENFATNING 4

- 1.1 Status 4
- 1.2 anbefalinger 5
- 1.3 Perspektiv 6

## 2. BAGGRUND, FORMÅL OG SUCCESKRITERIER 7

- 2.1 Baggrund 7
- 2.2 Formål 8
- 2.3 Succeskriterier 8

## 3. PROJEKTAKTIVITER OG RESULTATER 10

- 3.1 Udvikling af metoder til bestemmelse af arealdistribueret nedsivning 10
  - 3.1.1 DK-modellens rodzonemodul 10
  - 3.1.2 Test og verifikation af DK-modellens rodzonemodul 11
  - 3.1.3 Ph.D. studie med fokus på grundvandsdannelse og -beskyttelse 12
- 3.2 Udvikling af værktøj og procedurer for bestemmelse og klassificering af arealanvendelse ud fra satellitdata 13
- 3.3 Etapevis opbygning og kalibrering af grundvandsmodeller (koncept, afprøvning og opstilling) 14
  - 3.3.1 Udvikling af modelkompleks for hele landet 14
  - 3.3.2 Validering af DK-model konceptet 16
- 3.4 Opbygning og integrering af lokalmodeller for udvalgte overvågningsområder under vandmiljøplanen 21
- 3.5 Ressourcevurderinger og simuleringer 22
- 3.6 National modeldatabase 23
- 3.7 Nationalt ressourceovervågningsnet 25
  - 3.7.1 On-line stationer 25
  - 3.7.2 Stationer med dataloggere 25
  - 3.7.3 Amtsligt pejlestationsnet 25
  - 3.7.4 Pejledatabasen 26
  - 3.7.5 Kvartårligt nyhedsbrev 26
- 3.8 Udvikling af modelmoduler til MIKE SHE systemet 26
  - 3.8.1 Udvikling af Geologisk Editor 27
  - 3.8.2 Udvikling af øvrige GIS-baserede værktøjer - interfaceprogrammer 27
  - 3.8.3. Udvikling af densitetsmodul 28
  - 3.8.4 Udviklingstiltag i forbindelse med op- og nedskalering 29
  - 3.8.5 Udvikling af øvrige komponenter 29
  - 3.8.6 Test af udviklede moduler og vurdering af anvendelsespotentiale 29
- 3.9 Evaluering og temamøder 31
  - 3.9.1 Opfølgning på midtvejsevaluering i maj 1999 31
  - 3.9.2 Vurdering af opnåede resultater i forhold til opstillede succeskræterier 33

## 4. REALISERET BUDGET 34

## **5. REFERENCER 36**

- 5.1 Postere 36
- 5.2 Videnskabelige artikler publiceret i proceedings med review 36
- 5.3 Videnskabelige artikler publiceret i proceedings uden review 37
- 5.4 Konferencebidrag, foredrag med abstract i proceedings uden paper 37
- 5.5 Populærartikler i bl.a. danske tidsskrifter 38
- 5.6 Rapporter 38
- 5.7 Hjemmeside 39

**Bilag 1 Projektkontrakt mellem Miljø- og Energiministeriet og Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. 22.12.95.**

**Bilag 2 MIKE SHE slutrapport. December 2000.**

**Bilag 3. Rapport fra midtvejsevaluering i maj 1999.**

# 1. KONKLUSION OG SAMMENFATNING

## 1.1 Status

Gennem projektkontraktens forløb med etapevis opstilling af den Nationale vandressourcemodel, er der fokuseret på anvendelse af systematisk metodik til kalibrering og validering af den landsdækkende model. Kvantitative og kvalitative kalibreringskriterier har været anvendt i forbindelse med stationær og dynamisk kalibrering. Der er foretaget videreudvikling af MIKE SHE, så modelkoden er blevet mere operationelt anvendelig til modellering på stor skala, herunder afvikling af stationære kørsler med henblik på invers modellering og transiente kørsler med henblik modelvalidering og simulering af vandkredsløbets dynamik for de 11 regionale deloplande den landsdækkende model er opdelt på.

DK-modellen kan beskrive grundvandsdannelse til magasiner i forskellig dybde, vandbalanceforhold på oplandsniveau, nettonedbør, grundvandspotentialer, vandløbsafstrømning samt opholdstider i grundvand på stor skala. Den kalibrerede DK-model udgør en kvalitetssikret hydrogeologisk model for hele landet i 3D, med tilhørende kalibrerede hydrauliske parameterverdier for de forskellige geologiske lag. Modellen udgør dermed en værdifuld "referenceramme" for opstillingen af lokale og mere detaljerede modeller i forbindelse med bl.a. zoner og detailkortlægning af grundvandsressourcen med hensyn til fastsættelse af input til hydrogeologisk tolkningsmodel, randbetingelser, grundvandsdannelse og parameterverdier.

Koblingen af MIKE SHE og det inverse modelsystem UCODE (MSU) er afprøvet og påvist anvendeligt til finkalibrering og evaluering af modelopstilling for Jylland og Øerne. MSU er testet for Sønderjylland og Nordøstsjælland. Status for etapevis modelopstilling er pr. marts 2001 at den geologiske model er færdiggjort for Øerne og Jylland (Bornholm mangler). Rodzonemodulet er opstillet for Sjælland, Fyn og Jylland. Numeriske grundvandsmodeller for Fyn og Sjælland er afsluttede, hvorimod der fortsat arbejdes på at afslutte de sidste etaper for Jylland og Bornholm i løbet af 2001.

Med henblik på beskrivelse af den arealdistribuerede grundvandsdannelses regionale fordeling og tidslige variation er der udviklet et rodzonemodul, som efter en nærmere afprøvning i forhold til Daisy er fundet anvendeligt, til på regional skala at beskrive grundvandsdannelsen og koblet til DK-modellens øvrige vandkredsløbskomponenter baseret på MIKE SHE, fordelingen af nettonedbør til overfladevand og grundvand.

Der er igangsat et PhD studium i maj 1999 om videnopbygning vedr. metoder til bestemmelsen af grundvandsdannelsen til magasiner i forskellig dybde og med relevans i forhold til grundvandsbeskyttelse. Der fokuseres i dette studie på studier af "facies arkitektur", opstilling af alternative geologiske modeller og brug af aldersdateringer som værktøjer til validering af parameterestimering og simuleret grundvandsdannelse

med anvendelse af numeriske grundvandsmodeller. Der er udpeget to feltlokaliteter: Vårby å på Vestsjælland og Odense/Odense å på Fyn. Der etableres for sidstnævnte en tidsserie af tritiumindholdet i forskellige kredsløbskomponenter for perioden 1963-95 for regnvand, vandløbsafstrømning og grundvand på baggrund af arkiverede vandprøver hos Odense Vandselskab, som analyseres med numerisk grundvandsmodel.

Der er opstillet lokalmodeller for 6 oplande med udgangspunkt i DK-model og med anvendelse af udviklede værktøjer til geologisk modellering på en mindre skala (bl.a. Geoeditor). Arbejdet med lokalmodeller er sket i forskellige sammenhænge bl.a. afprøvning af zoneringsmetoder, kortlægning, forskning i forbindelse med Strategisk Miljøforsknings Program (Pesticider og grundvand), vidensyntese om økologisk jordbrug, input til Midtvejsevalueringen af VMP II og kvalitetssikring af modelopgaver i forbindelse med zonerings.

Lokalmodeller opstillet i forbindelse med DK-modellen og indeholdende GRUMO/LOOP områder for Vårby, Svendborg og Bedsted/Bolbro har givet ny viden om opholdstider i grundvand og vandbalanceforhold. Resultaterne viser at effekten af fx Vandmiljøplanen bliver "forsinket" i op til flere år i overfladevandssystemet og op til flere årtier i de dybe grundvandssystemer. Denne konklusion understøttes for det dybe grundvands vedkommende af aldersdateringer.

Resultater med DK-modellen peger på at der er behov for at basere kvælstofbalancer og trendanalyser fx i større vandløb i forbindelse med NOVA2003, på en detaljeret og fysisk baseret beskrivelse af de enkelte komponenter i vandkredsløbet, herunder i særdeleshed betydningen af klimatiske variationer i nedbør og temperatur for nitratudvaskningen fra rodzonen og strømningsforhold og reduktionskapacitet i grundvand.

## 1.2 anbefalinger

I forbindelse med test af rodzonemodulet og resultater af DK-model er der identificeret områder hvor der er behov for yderligere forskning og videnopbygning. Det gælder således benyttede nedbørskorrekationer og metoder til fastsættelse af potentiel fordampning (Makkink contra modificeret Penman). Usikkerheder på inputværdier til DK-model (nedbør og fordampning) anbefales vurderet i samarbejde mellem GEUS og DMI, DJF og DMU. Afklaringer af usikkerheder og vurdering af behov for yderligere udredninger foretages i forbindelse med arbejdet med Temarapport om Ferskvandskredsløbet, som publiceres i 2002.

Sikringen af den fremtidige drift og vedligeholdelse af DK-modellen, baseret på en løbende opdatering og videreudvikling af modellen forudsætter en løsning på følgende problemstillinger:

- en brugbar finansieringsmodel
- forankring af amternes faglige deltagelse og involvering
- forbedring af dataudveksling mellem MIKE SHE og MODFLOW

### 1.3 Perspektiv

I forbindelse med DK-model 2 (nitratmodellering) er der behov for at arbejde videre med en mere detaljeret beskrivelse af udvaskningen fra rodzonen ved forskellige landbrugspraksis og gødningsanvendelser, og koble fx Daisy eller andre modeller på DK-modellen. DK-modellen vil kunne udgøre kernen i et konsekvensberegningssværktøj til beskrivelse af kvælstofpåvirkningen af grundvand og overfaldevand, som følge af landbrugspraksis, gødningstilførsel og klimatiske variationer på stor skala. Arbejdet med udvikling af et sådant koncept er igangsat i 2000 og intensiveres i 2001 i forbindelse med igangsætning af et PhD studie med fokus på en kobling af Daisy og DK-model 1 (også kaldet DK-model 2) med udgangspunkt i data for bl.a. Odense å, hvor der foreligger daglige kvælstofkoncentrationer for en længere årrække (indsamlet af Fyns Amt). Modeller, som kan beregne den tidlige variation af nitratudvaskningen på baggrund af klimadata og landbrugspraksis, kan hjælpe med at reducere denne naturlige støjkilde, således at signalet (effekten af Vandmiljøplanen) optræder tydeligere og derfor lettere kan identificeres. En kombineret anvendelse af modeller og overvågningsdata kan bidrage til en bedre udnyttelse af hele den værdifulde information, der gemmer sig bag dataene i NOVA2003.

En af anvendelsesmulighederne for DK-modellen er, at den vil kunne danne grundlag for detaljerede simuleringer på lokal skala. DK-modellen kan levere randbetingelser, grundvandsdannelse og parameterverdier til lokale modeller der opstilles i forbindelse med Vandmiljøplanen (GRUMO) og modeller der opstilles i forbindelse med detailkortlægning og zonerings af grundvandsressourcen.

Etableringen af 10 on-line pejlestationer og ca. 35 datalogger stationer samt yderligere pejlestationer i amternes regionale pejlestationsnet med en samling af samtlige pejledata i Jupiter databasen giver mulighed for løbende overvågning og overblik over grundvandsstandens regionale og tidlige variationer på landsplan, og vil kunne indgå i såvel kvartårige nyhedsbreve om ressourcens størrelse som årlige afrapporteringer af nettonedbør, grundvandsdannelse og udvikling i grundvandsstand i forbindelse med NOVA, som bidrage til en vurdering af udviklingstendenser og evaluering af pålideligheden af simuleringerne. Herved kan pejledata udgøre væsentlige indikatorer for behov for opdatering af den geologiske model og recalibrering af de numeriske DK-model.

DK-modellen er den væsentligste platform for rådgivning til såvel amter som Miljøstyrelsen i de kommende år. Det er her at resultatet af investeringen i DK-modellen skal høstes. Det vil imidlertid kun være interessant såfremt modellen er levende, dvs. løbende opdateres. Det er derfor af afgørende betydning for GEUS's indtægtsdækkende rådgivningsvirksomhed at DK modellen kører over i en driftsfase. DK-modellen er samtidig en fremragende platform for mange spændende forskningsprojekter, og i relation til EU projekter en unik model. Af forskningsemner som i de kommende år vil være afhængig af DK-model som platform kan nævnes: usikkerhedsvurdering, klimaforskning – vandressourceaspekt, vandmiljøplan / nitrat, optimering af monitoringsnet, on-line varsling af tilstand og kobling med remote sensing.

## 2. BAGGRUND, FORMÅL OG SUCCESKRITERIER

### 2.1 Baggrund

Projektet blev igangsat 1. januar 1996, som et af to delprojekter der blev afviklet under en projektkontrakt mellem Energi- og Miljøministeriet og GEUS. Det andet delprojekt var *Udvikling og afprøvning af nye metoder til bestemmelse af pesticiders forekomst og nedbrydning i grundvand*. Projektaktiviteterne blev fra starten, af faglige årsager indpasset i et fem-årigt projektforsløb (1996-2000), som en konsekvens af en række på daværende tidspunkt endnu ikke belystbare udviklinger omkring bemanningen og den tilstedeværende kompetence (bl.a. var GEUS's deltagelse i Det Strategiske Miljøforskningsprogram *grundvand og pesticider* på det tidspunkt uafklaret, se bilag 1).

Anledningen til iværksættelsen af den Nationale Vandressource Model (DK-model) var et behov for *en bedre kvantificering af vandressorens størrelse og variation*. GEUS har gennem ca. 50 år indsamlet oplysninger om grundvandsstandens variation i Danmark på grundlag af systematiske målinger i en række udvalgte borer fordeelt over hele landet. Dette stationsnet talte ved projektets start ca. 140 pejleboringer, der fortrinsvis blev målt og indberettet manuelt af lokale observatører og resultater herfra er bl.a. blevet anvendt som miljøindikator. Derudover har pejleserier gennem årene dannet basis for kvalitative vurderinger af grundvandsressorens 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 grundvandets fluktuationer i forbindelse med forsknings- og konsulentopgaver ved kalibrering af grundvandsmodeller til kvantitativ bestemmelse af grundvandsressorens størrelse, f.eks. Suså undersøgelsen, Karup undersøgelsen og i de seneste år i forbindelse med *detaillertlægning og zonerings* af grundvandsressourcen.

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

## 2.2 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 der 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
- 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 integrering af ressourceovervågning i vandmiljøplanens overvågningsprogram med henblik på samlet vurdering af ferskvandsressourcens mængde, kvalitet og beskyttelse
- At reorganisere og effektivisere det nationale ressource-overvågningsnet (pejlestationsnettet) på grundvand, herunder opbygning og implementering af systemer for dataopsamling og lagring, transmission og bearbejdning under anvendelse af tidsvarende teknologi
- At videreudvikle det tilgrundliggende 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.

## 2.3 Succeskriterier

### *Succeskriterie 1.*

Der igangsættes et PhD-studie i samarbejde med DTU, Institut for Strømningsmekanik og Vandbygning 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).

### *Succeskriterie 2.*

Der ansøges om medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen til den del af projektet, som vedrører udvikling af moduler til modelsystemet MIKE SHE, og primært vedrører deltagelse af Dansk Hydraulisk Institut, ATV (DHI):

### *Succeskriterie 3.*

Resultaterne fra projektet publiceres i anerkendte, internationale tidsskrifter under projektforløbet og i forbindelse med dets afslutning. Derudover påregnes et antal populærartikler publiceret i danske tidsskrifter (Vandteknik, Vand & Jord).

Den videnskabelige produktion forventes at være indenfor følgende specifikke emner:

- Aldersdatering af grundvand
- Geologisk variabilitet (på 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

### *Succeskriterie 4.*

I tilknytning til projektevalueringerne arrangeres der et seminar/symposium om vandressourcer. Derudover afholdes der temamøder i slutningen af 1996, 1999 og 2000.

### *Succeskriterie 5.*

Ved slutningen af projektet igangsættes en periodisk formidling af aktuel information (evt. kvartårligt nyhedsbrev) om grundvandsressourcens størrelse og variation på landsplan.

### *Succeskriterie 6.*

Der ansøges om medfinansiering fra Forskningsministeriets programmidler vedr. IT til den del af pejlestationsnettets opbygning, der omhandler måleinstrumenter, on-line systemer, databaseopbygning etc.

### *Succeskriterie 7.*

I forbindelse med revisionen af Vandmiljøplanens overvågningsprogram i 1998 er det målet at integrere ressourceovervågningen med den eksisterende kvalitetsovervågning, således at der kan opnås et bedre billede af den tilgængelige og udnyttelige ferskvandsressources tilstand.

### 3. PROJEKTAKTIVITER OG RESULTATER

#### 3.1 Udvikling af metoder til bestemmelse af arealdistribueret nedsivning

Denne aktivitet har omfattet 3 delaktiviteter:

- Udvikling af operationelt anvendeligt rodzonemodul til anvendelse på regional skala
- Verifikation af rodzonemodul med sammenligning med Daisy og ved kalibrering og validering af DK-model
- Iværksættelse af PhD studie med henblik på videnopbygning omkring parametre og processer der styrer grundvandsdannelsen

##### 3.1.1 DK-modellens rodzonemodul

DK-modellens rodzonemodul opstiller en simpel vandbalance for rodzonen ud fra en empirisk relation mellem aktuel og potentiel fordampning som funktion af vandindholdet i rodzonen (reference til Kinzelbach ?). Modulet fordeler nedbøren mellem nedsivning og aktuel fordampning. Den styrende parameter i beregningen udgøres af markkapaciteten som afhænger af vegetationstype samt jordart. I DK-modellen anvendes 3 forskellige værdier for markkapaciteten: 150 mm for skovarealer, 70 mm for sandjorde og 140 mm for lerjorde (Christensen og Henriksen, 2000; Henriksen et al., 1998; Henriksen et al., 1997). Der antages en nedbørsdistribuering, så højtliggende områder modtager mere nedbør end lavtliggende områder. Skovområder antages at have en større potentiel fordampning end landbrugsområder, og i vådområder antages at ske en potentiel fordampning året rundt uanset nedbørens størrelse.

Afhængig af arealanvendelse, jordart og terrænkote opnås der således forskellige nettonedbørsserier (daglige værdier som distribueres ud på et 1 x 1 km landsdækkende grid). Der skelnes mellem skov, vådbundsområde, højt- og lavtliggende åbent land med enten sand- eller lerjord. I Jylland hvor der i forbindelse med landbrugsjorde er et stort vandingsbehov medregnes markvanding som et ekstra tilskud til nedbøren. En del af nettonedbøren vil strømme af til vandløb enten i form af overfladisk afstrømning eller som drænvandsafstrømning (især af betydning i lerjorde), mens resten siver ned i jorden og danner grundvand. I rodzonemodulet tvinges yderligere en del af nettonedbøren direkte til overfladisk afstrømning i stedet for til mættet zone. Dette gøres for at tage hensyn til, at modeltopografien er mere udjævnet end den faktiske topografi, at regnvand på befæstede arealer i byområder normalt ledes til overfladevandssystemet og at den overfladenære afstrømning øges i områder med lerjorde. Ved nedsivning fra overfladen til den mættede zone ses der i DK-modellen bort fra forsinkelse og magasiner i den umættede zone (Christensen og Henriksen, 2000).

### 3.1.2 Test og verifikation af DK-modellens rodzonemodul

Det simple rodzonemodul er sammenlignet med beregninger med Daisy for to lokaliteter for sandjord. Til begge modeller er i testen anvendt de samme klimadata i form af nedbør og potentiel fordampning for perioden 1987-96 fra et landsdækkende 40 x 40 km klimagrid. Daisy er en jord-plante-atmosfære model udviklet på den Kgl. Veterinær og Landbrughøjskole (reference til Søren Hansen ?). Modellen er en kolonne model til simulering af planteproduktion, jordvandets dynamik og kvælstoffets dynamik ved planteproduktion under forskellige dyrkningsbetingelser og strategier. Daisy kan således beskrive planters interception af nedbør, fordampning fra jordoverfladen, vandoptagelse i planterødder, transpiration og vertikal vandbevægelse i jordprofilet, herunder præferentiel strømning. Vandtransporten i jordmatricen modelleres vha. Richards' ligning, hvortil kræves information om retentionskurver og hydraulisk ledningsevne funktioner for hver jordtype (Christensen og Henriksen, 2000).

Testen af DK-modellens rodzonemodul i forhold til Daisy har vist, at rodzonemodulet ikke kan afspejle dynamikken i rodzonen korrekt, når der ses på små tidshorisonter som f.eks. døgnbasis. Dette er dog heller ikke af så stor betydning, idet rodzonemodulets formål er at kunne give et rimeligt input til en grundvandsmodel, som har til formål at se på overordnede variationer i grundvandsdannelsen og Danmarks samlede vandressourcer. Hertil kommer at de øverste beregningslag i grundvandsmodellen vil have en "udjævnende" effekt på den videre nedsivning, og derved kompenserer for noget af den manglende tidsforsinkelse i den umættede zone.

Sammenholdt med resultaterne fra Daisy (der i øvrigt er baseret på mere detaljerede data for landbrugspraksis i to områder) ser de årlige nedsivningsværdier genereret vha. rodzonemodulet fornuftige ud. Gennemsnitligt for perioden 1987-1996 opnås en uoverensstemmelse på 5,6 % for Karup sandjorden og 5,7 % for Vårby sandjorden. I begge tilfælde genererer rodzonemodulet gennemsnitligt mere nedsivning end Daisy. Den styrende parameter i rodzonemodulet er markkapaciteten, og sammenlignes med markkapaciteten anvendt i Daisy ses rodzonemodulets markkapacitet at være sat en anelse lavt. En større markkapacitet i rodzonemodulet vil resultere i mindre nedsivning. Anvendes en markkapacitet på 100 mm i stedet for de nuværende 70 mm for sandjorde i rodzonemodulet reduceres den gennemsnitlige forskel for perioden 1987-1996 således til 1,0 % for Karup sandjorden og 1,9 % for Vårby sandjorden. Det kan diskuteres om der skal foretages en regulering af den tilgængelige mængde vand i rodzonen for bedre at kunne afspejle den sæsonafhængige fordampning forårsaget af plantevækst. I den forbindelse skal det overvejes hvor godt et sammenligningsgrundlag resultaterne fra Daisy er, idet Daisy modellen er meget afhængig af fastsættelsen af randbetingelser (f.eks. placering af grundvandsspejl), som i denne sammenhæng ikke er entydige og konstante over tid (Christensen og Henriksen, 2000).

Med henblik på beskrivelse af den arealdistribuerede grundvandsdannelse som input til / koblet til den Nationale vandressource grundvandsmodel, er det udviklede rodzonemodul ved den nærmere afprøvning i forhold til Daisy beregninger og på baggrund af den dynamiske kalibrering og validering af DK-modellen, fundet velegnet og opera-

tionelt anvendelig til på regional skala at beskrive vandbalanceforhold og grundvandsdannelse.

I forbindelse med testen af rodzonemodulet er der identificeret områder hvor der er behov for yderligere forskning og udredning. Det gælder således benyttede nedbørskorrektioner og metoder til fastsættelsen af potentiel fordampning (Makkink contra modificeret Penman). GEUS har taget kontakt til DMI og DJF med henblik på en opfølgning på de identificerede problemstillinger omkring kvantificering af inputvariable til DK-modellen og vurdering af usikkerheder på input. I forbindelse med DK-model II (nitratmodellering) er der behov for at arbejde videre med en mere detaljeret beskrivelse af udvaskningen fra rodzonen ved forskellige landbrugspraksis og gødningsanvendelser og koble f.eks. Daisy eller andre modeller på DK-modellen (Hansen et. al, 2000).

### 3.1.3 Ph.D. studie med fokus på grundvandsdannelse og -beskyttelse

Som nævnt var der oprindeligt planlagt et Ph.D.-studie med afvikling i perioden 1996-98. Først ved udgangen af 1998 blev opnået enighed mellem GEUS og DTU/ISVA om en revideret projektformulering, som i stedet for at rette fokus på umættet zone og remote sensing, flyttede fokus i retning af metoder til bestemmelse af grundvandsdannelsen og nedsivningen til magasiner i forskellig dybde og med relevans i forhold til grundvandsbeskyttelse. Denne ændring af fokus var dels et resultat af at PhD studiet først blev igangsat på et sent tidspunkt i projektforsløbet, hvor der allerede var fundet en operationelt anvendelig løsning på håndtering af rodzonen med det simple rodzonemodul, og dels et resultat af at DK-modellen havde vist, at forståelsen af grundvandsdannelsen til de primære magasiner i højere grad er afhængige af de dybere jordlag og de geologiske forhold end af forholdene i rodzonen og den resterende del af den umættede zone. Endelig var der et ønske om at inkludere environmental tracers (aldersdatering) i PhD studiet, hvilket også krævede en ændring af fokus mod de dybere jordlag og geologiens betydning for grundvandsdannelsen.

Det reformulerede PhD studie blev igangsat 1. maj 1999 under vejledning af prof. Karsten Høgh Jensen og med Lars Troldborg som PhD studerende. Der blev udpeget et grundvandsmagasin med solidt datagrundlag (Vårby å / Eggerslevmagle GRUMO området i Vestsjælland) og påbegyndt indsamling af yderligere feltdata (hydrogeologi, geokemi, arealanvendelse, tracere), opstilling af geologisk og hydrogeologisk model og opstilling af 3-D numerisk model (herunder invers modellering). De opnåede resultater fra Vårby å oplandet skal være med til at belyse, hvor godt parameterfastsættelsen i den nationale vandressource model kan påregnes at være. Ved hjælp af invers modellering kalibreres den lokale model 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 den lokale 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. De første resultater af parameterestimering for Vårby området ved hjælp af arbejde med "facies arkitektur" og anvendelse af alternative geologiske tolkningsmodeller i modelleringsprocessen blev præsenteret ved et AGU møde i San Francisco i december 2000 (Trolborg, 2000).

En anden vigtig komponent i det igangsatte PhD studie er en analyse af indsamlede aldersdateringer ved Odense i regnvand, vandløbsvand og to borerer ved hjælp af et udsnit af den Nationale Vandressource Model. Aldersdatering af grundvand er en af de væsentligste og mest anvendte metoder til kalibrering og test af grundvandsmodeller. 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. Et stort antal grundvands- og vandløbsprøver fra Odense Vandselskab udtaget i perioden 1963-1995 er for tiden genstand for  $^3\text{H}$  analyser hos det Internationale Atom Energi Agentur (IAEA) i Wien, der administrerer et globalt netværk af monitoringsstationer, der registrerer isotoper i nedbør. GEUS har netop modtaget de første resultater fra  $^3\text{H}$  (tritium) analyser fra IAEA på ca. 65 nedbørsprøver fra Odense, et antal udvalgte vandløbsprøver fra Odense å og udvalgte prøver fra grundvandet ved to borerer. Herefter skal der udvælges flere vandprøver der skal analyseres med henblik på at tilvejebringe en dataserie af tritiumgennembruddet, som kan benyttes i forbindelse med analyserne med den numeriske grundvandsmodel.

Der er etableret kontakt med Prof. G.E. Fogg ved University of California (Davis) med henblik på et udlandsophold i perioden september 2001 – februar 2002, og videreudvikling af metoder der arbejder med "facies arkitektur" og anvendelse af "aldersdatering / tracere" i forbindelse med validering af opstillede grundvandsmodeller, der har til formål at kvantificere grundvandsdannelsen. Der vil i PhD studiet blive arbejdet videre med "facies modellering / numeriske grundvandsmodeller / aldersdatering" for begge de valgte lokaliteter (Vårby å/Eggerslevmagle og Odense å oplandet).

### 3.2 Udvikling af værktøj og procedurer for bestemmelse og klassificering af arealanvendelse udfra satellitdata

I forbindelse med forstudier til PhD studiet, som i starten var formuleret med et indhold omkring remote sensing, blev der foretaget litteraturgennemgang og indsamlet erfaringer på området. Aktiviteten blev dog stoppet som følge af at PhD studiet blev reformuleret med et andet fokus end oprindeligt beskrevet.

Der er foretaget en test af nye AIS arealanvendelsesdata fra DMU for Vårby å oplandet (1:25.000). I forbindelse med den Nationale vandressourcemodel anvendes Corine+ data (1:100.000) som grundlag for distribueringen af arealanvendelsen i rodzone-modulet (skov, byområder mv.). De nye AIS data vil kunne anvendes i forbindelse med en videreudvikling og opdatering af DK-modellen og er anvendelige f.eks. i forbindelse

med detailmodeller eller regionale hydrologiske modeller der opstilles rundt omkring i amterne i forbindelse med bl.a. zonerings.

En række af aktiviteterne omkring MIKE SHE udvikling (UZ – editor og generelle GIS værktøjer) omhandler en etablering af forbedrede muligheder for en lettere anvendelse af forskellige GIS data.

### 3.3 Etapevis opbygning og kalibrering af grundvandsmodeller (koncept, afprøvning og opstilling)

#### 3.3.1 Udvikling af modelkompleks for hele landet

DK-modellen består af en række regionale grundvandsmodeller som tilsammen udgør en landsdækkende model. Inddelingen i regionale modeller baseres så vidt muligt på naturlige hydrologiske grænser. Modellen for Sjælland er således opdelt på 3 regionale modeller: Nordøstsjælland, Vestsjælland og Sydsjælland (incl. Møn, Falster og Lolland). DK-model Jylland opdeles i 6 regionale modeller: Nord-, Nordvest-, Øst-, Sydvest-, Sydøst- og Sydjylland. Endelig opstilles der en model for Bornholm.

Det er som grundlag for opbygning af DK-modellen valgt at anvende MIKE SHE systemet. MIKE SHE er et deterministisk og fysisk baseret fuldt distribueret modelsystem, som beskriver de væsentligste strømningsprocesser i landfasen af det hydrologiske kredsløb. MIKE SHE kan beskrive afstrømning på jordoverfladen (2D), i vandløb (1D), over og under grundvandspejlet (3D) samt drænvandsafstrømning (2D).

Input til DK-modellen udgøres af bl.a.:

- klimadata (døgnværdier for nedbør, potentiel fordampning og temperatur fra et landsdækkende 40x40 km klimagrid; data fra 1971-96 fra DJF og data fra 1990-2000 fra DMI)
- GIS data for topografi, vandløbssystem, jordart (sand og ler) og arealanvendelsesdata (skov, åbent land, byområder og vådområder)
- vandindvindingsdata (årlig oppumpning i forbindelse med almene vandværker, erhvervsvanding og industri; oppumpninger > 25.000 m<sup>3</sup>/år er medtaget i DK-modellen)
- 3D hydrogeologisk tolkningsmodel baseret på boringsdata fra Jupiter, cirkeldiagramkort og andre geologiske basisdata (f.eks. jordartskort, prækvartæroverflade)
- tolkning af områder med stor glacialtektonisk forstyrrelse (sedimentær eller strukturel)
- parameterestimering (hydrauliske parametre bl.a. hydraulisk ledningsevne, magasin-koefficient, drænkostant, lækagekoefficient for udveksling mellem grundvand og vandløb, Manningtal etc.)

Output fra DK-modellen udgøres af bl.a.:

- grundvandsdannelse til magasiner i forskellig dybde (data foreligger for 1 x 1 km grid for hele landet med en opløsning i dybden svarende til hvert beregningslag i modellen, dvs. med mulighed for udtræk på 9 lag i modellen for øerne og 17 lag i modellen for Jylland; den tidlige diskretisering i udtræk afhænger af med hvilken frekvens der er gemt data. I princippet kan der genereres data med frekvens på mellem 1 dag og et år, men typisk er der i de endelige kørsler gemt data for grundvandsdannelsen ca. 1 gang pr. måned – der foreligger simuleringsdata ud fra ”konsistente og homogene klimadata” for perioden 1990-2000)
- vandbalance tal for de enkelte delmodeller (nettonedbør, nedsivning til grundvand, vandindvinding, overfladisk afstrømning, drænvandsafstrømning og grundvandsafstrømning til vandløb, grundvandsafstrømning til kysten); der kan desuden udtrækkes vandbalancer for underområder fx kommuner
- nettonedbør (daglige værdier for 6-10 arealanvendelsestyper indenfor hvert 40 x 40 km klimagrid)
- fordelingskvotient for routning af nettonedbør til grundvand eller overfladevand (afhængig af byområder, topografisk variation og jordbundsforhold - data foreligger for 1 x 1 km grid for hele landet)
- geologisk model for hele landet i 3D (modellen for øerne består af en profiltolkning ud fra cirkeldiagramkort med 9 gennemgående geologiske lag, modellen for Jylland består af en slicetolkning ud fra bl.a. Jupiter med en tolkning i kasser på 1 x 1 km x 10 m, dvs. i vertikale intervaller af 10 m)
- kalibrerede parameter værdier (hydrauliske ledningsevner, magasintal, vandløbslækagekoefficient, drænkostant mv.) hørende til den geologiske model, som er finkalibreret ved invers modellering for hver delmodel
- grundvandspotentialer med en opløsning på 1 x 1 km (mulighed for udtræk for hvert beregningslag og potentialer med og uden oppumpning)
- vandløbsafstrømning (daglige afstrømninger evt. med hydrografseparation på baseflow, drænvandsafstrømning og overfladenær afstrømning; mulighed for analyser med og uden vandindvinding dvs. baseflow svarende til ”upåvirket” reference-situation)
- partikelbaner og opholdstider (mulighed for analyser af opholdstider fra grundvandsdannelse i f.eks. infiltrationsområde til ankomst ved fx større kildepladser eller til magasiner i forskellig dybde)

Det er i forbindelse med DK-modellen erkendt at det er vigtigt ikke kun at se på grundvandet som en afgrænset enhed, men at se det i en sammenhæng med de øvrige dele af vandkredsløbet som f.eks. vandløb og vådområder. Et centralt forhold i den forbindelse har været at sikre en så fysisk korrekt beskrivelse af grundvandsmagasinsystemet (3D) og interaktionen mellem grundvand og overfladevand som muligt (herunder udveksling mellem f.eks. grundvand og vandløb). Ved modelopstillingen er der således lagt særlig vægt på:

- en god beskrivelse af grundvandsmagasinsystemerne og randbetingelserne til disse
- en præcis beskrivelse af den arealdistribuerede grundvandsdannelse

- detaljerede oplysninger om topografi, jordartsforhold, dræn- og vandløbssystem samt hydrogeologiske forhold med henblik på beskrivelse af vandudveksling mellem overfladevand og grundvand
- at modellen afspejler faktuelle grundvandsmagasiner
- at modellen på regionalt niveau skal kunne belyse de arealer hvor infiltrationen til magasinerne især sker
- at modellen kan belyse påvirkningsfaktorer som følge af oppumpning i forhold til minimumvandløbsafstrømningen

Arbejdet med opstilling af DK-modellen for Jylland baseres i stor udstrækning på erfaringerne fra opstillingen af DK-modellen for Fyn og Sjælland. Der er foretaget en del ændringer i modelopsætningen, idet der er blevet udviklet nye faciliteter i den anvendte numeriske model og i metodik vedr. tolkning af den geologiske model. De væsentligste ændringer er følgende:

- Forskellige metode til repræsentation af den geologiske model samt beregningslag i modellen.
- Markvanding kan medtages i form af et ekstra tilskud til nedbøren samt oppumpning fra markvandingsboringer.
- Vandløbsstrømning beskrives ved brug af MIKE 11 som kobles til MIKE SHE.

Beskrivelse af snesmeltning og aktuel fordampning er baseret på DK-modellens rod-zonemodul.

De opstillede DK-modeller arkiveres i den landsdækkende modeldatabase for numeriske grundvandsmodeller (modeldatabase) med udarbejdelse af et kvalitetsdokument som kortfattet beskriver de enkelte modelopstillinger.

For yderligere oplysninger henvises til [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk) som løbende holdes opdateret om nyt vedr. modelopstilling, videnopbygning, ressourceovervågning og MIKE SHE udvikling.

### 3.3.2 Validering af DK-model konceptet

Det er vurderet, at en horisontal diskretisering i et 1x1 km beregningsnet udgør en øvre grænse for, hvor groft de fysiske forhold kan repræsenteres, idet brug af et beregningsnet på f.eks. 2 x 2 km giver for store usikkerheder i repræsentationen af topografiske og geologiske variationer, ligesom den decentrale vandindvindingsstruktur med relativt små vandværker sætter grænser for, hvor groft et beregningsnet det giver mening og kan anvendes.

Samspelet mellem klima, vegetation og jordbund har stor indflydelse på fordampningen og dermed på nedsivningen til grundvandet. På grund af den valgte skala med et beregningsgrid på 1x1 km vil DK-modellen imidlertid repræsentere en relativ grov forenkling af en række forhold bl.a. topografi, repræsentation af den geologiske variabilitet, repræsentation af dræn- og vandløbssystemer etc. Det er derfor i første omgang valgt

at basere beskrivelsen af fordampning (og dermed nedsivning fra rodzonen) på et relativt simpelt vandbalancemodul for rodzonen, og samtidig at se bort fra de enkelte processer i den umættede zone. Ved overordnede vurderinger på landsplan af ændringer mellem skov, åbent land, byområde og vådområder vurderes modellen brugbar i den nuværende konfiguration.

Gennem hele projektforsløbet har GEUS fokuseret på anvendelse af systematiske kalibreringsmetoder, hvor kvantitative kalibreringskriterier har været opstillet og anvendt i forbindelse med dynamisk kalibrering og validering. Der er foretaget en videreudvikling af konceptet så Jyllandsmodellen først kalibreres stationær ved automatisk kalibrering (invers modellering med UCODE), forud for den dynamiske kalibrering.

Der er foretaget en kobling af MIKE SHE og UCODE, som er en invers optimeringsrutine, ved stationær modelkalibrering (MSU – MIKE SHE UCODE), der er afprøvet og fundet anvendelig til finkalibrering og evaluering af modelopstilling for Jylland og Øerne. MSU er testet for Sønderjylland og Nordøstsjælland, se bl.a. (Sonnenborg, 2000).

Konceptet for Jyllandsmodellen er på baggrund af den inverse kalibrering for Sønderjylland og analyser med MODFLOW for et delopland i Ribe amt (opland til Holme å, Sneum å, Holsted å og Konge å) blevet justeret med indbygning af yderligere et beregningslag i de øverste lag (og med henblik på at tage hensyn til at moræneleren i de øverste 3-5 meter er væsentlig mere opsprækket og permeabel end i større dybde).

Også med hensyn til modelvalidering har der været arbejdet konsekvent med split-sample test (Fyn og Sjælland og i øjeblikket Jylland) med en opdeling af observationsdata på en kalibreringsperiode (1990-94) og en valideringsperiode (1995-2000). For Sjælland har der desuden været gennemført en proxy-basin validering, idet Vestsjælland og Sydsjælland i første omgang er blevet kalibreret, hvorefter kalibrerede parametre for de kvartære lag efterfølgende er testet for Nordøstsjælland. Resultaterne af denne validering viste imidlertid, at ønsket om anvendelse af de samme parameter-værdier for de enkelte delmodeller, ikke er holdbar. Dette resultat var bl.a. en grundene til at der i den sidste fase af projektet blev arbejdet videre med brug af invers kalibrering, idet der herved kunne ske en finkalibrering af de enkelte delmodeller på et objektivt grundlag.

En anden væsentlig erkendelse som blev gjort i forbindelse med Sjællandsmodellen (Henriksen et al. 1998) var, at der var et stort behov for at kunne sætte usikkerheder på de simulerede resultater, f.eks. grundvandsdannelse. Dette ønske blev bl.a. fremført af Københavns Amt og Vandplan Sjælland, måske som følge af erfaringer med relativt store forskelle på simuleret grundvandsdannelse ud fra forskellige modeller, som var opstillet for det samme område.

På en række punkter mangler der dog viden til at kunne gennemføre usikkerhedsvurderinger som kan omfatte en vurdering af såvel usikkerheder på input (nedbør og fordampning), parameter-værdier (f.eks. hydraulisk ledningsevne), geologisk model og procesbeskrivelse. Der er ikke nogen tvivl om, at der er behov for fortsat at arbejde

videre med disse spørgsmål og at netop disse emner er meget centrale i et modelprojekt.

GEUS har i forbindelse med DK-modellen valgt at forsøge at adressere usikkerheder på følgende måde:

- Usikkerheder på inputværdier (nedbør og fordampning). Der er taget kontakt til DMI og DJF vedr. et samarbejde om vurdering af usikkerheder på klimagriddata og nedbørskorrektioner samt beregnet potentiel fordampning (vha. modificeret Penman og/eller Makkink formlen). Afklaring af usikkerheder søges foretaget i forbindelse med arbejdet med Temarapport om ferskvandskredsløbet, som publiceres i 2002 i forbindelse med overvågningsprogrammet
- Usikkerheder på parameterværdier. Det er valgt at adressere den usikkerhed ved brug af invers kalibrering (UCODE). Ved hjælp af invers kalibrering er det muligt at estimere de vigtigste grundvandsparametre ud fra objektive kriterier. Pålideligheden af de estimerede parametre kan vurderes ud fra de beregnede usikkerhedsestimater og såvel parameterusikkerhed som –korrelation kan bestemmes (Sonnenborg, 2000)
- Usikkerhed på geologisk model og procesbeskrivelse. Addressering af disse typer usikkerhed forudsætter, at der opstilles et antal forskellige geologiske modeller for det samme område (f.eks. ved at forskellige geologer ud fra det samme datagrundlag hver opstiller en model for et givent område, som så kalibreres og vurderes). Der er arbejdet med denne problemstilling bl.a. i forbindelse med PhD studiet som blev igangsat i maj 1999 (Trolborg, 2000) på lidt mindre skala, og der vil fortsat blive arbejdet videre med problemstillingen i PhD studiet.
- Usikkerheder som genereres af en kombination af tilgrundliggende modelkode og modelopsætning kan bl.a. resultere i vandbalancefejl. Disse usikkerheder som kan bedømmes ud fra modellens resultater i forhold til f.eks. analytiske løsninger, er det valgt at belyse i samarbejde med DHI, Institut for Vand og Miljø. Der blev i projektforløbet konstateret problemer med MIKE SHE's stationære løser, MIKE SHE/MIKE 11 koblingen og håndtering af vandbalance i vådområder (i forbindelse med at "rodzonemodulet" trækker vand op fra de øverste lag i modellen) samt fejl i MIKE SHE's vandbalancemodul. I juni 2000 henvendte GEUS sig derfor til DHI vedr. afhjælpning af disse problemer med modelkoden, og i januar 2001 var samtlige af disse problemer blevet afhjulpnet (se mere herom under MIKE SHE udvikling nedenfor).

### 3.3.3 Status for etapevis modelopstilling

De identificerede problemer med MIKE SHE/MIKE 11 i forbindelse med valideringen af modelkonceptet beskrevet ovenfor, har forsinket projektet, så det tidligst forventes afsluttet i oktober 2001. Status for etapevis modelopstilling ved udgangen af 2000 var følgende (se tabel 2.1 og figur 2.1):

- Den geologiske model er færdiggjort for hele Jylland (Bornholm resterer)

- Rodzonemodellen er opstillet for Fyn, Sjælland og Jylland (til Limfjorden) og verificeret/valideret i forhold til Daisy og der er foretaget beregninger af daglige input-data til DK-modellen. Såvel snesmeltning som markvanding er i denne forbindelse indbygget i modellen.
- Numeriske grundvandsmodeller for Fyn og Sjælland er afsluttede med en grovkalibrering og validering. Der er gennemført standardiseret rapportering. Arbejdet med opstilling af numerisk grundvandsmodel for Jylland er igangværende (MIKE SHE grundvandsmodel, MIKE 11 vandløbsmodel, oppumpningsdata mv.)

I tabel 2.1 er anført tidsplan for afslutning af etapevis modelopstilling i løbet af 2001.

DK – delmodel	Milepæl 1 Hydrogeologisk tolkningsmodel		Milepæl 2 Modelopstilling og nøjagtighedskriterier		Milepæl 3 Kalibrering og validering		Milepæl 4 Simuleringer og rapportering	
	Koncept og GIS data	3D hydro- geologisk model	MIKE SHE og rodzone modul	MIKE 11 og van- ding/indvi nd.	MSU stationær invers kalibre- ring	Dynamisk kalibrering og valide- ring	Test kørsler	Rappor- tering
Fyn	1996	1996-97	1996-97	1997 *)	06-2001	1997	1997	1997
Vestsjælland	1997	1997-98	1997-98	1998 *)	06-2001	1998	1998	1998
Sydsjælland og øer	1997	1997-98	1997-98	1998 *)	06-2001	1998	1998	1998
Nordøstsjælland	1997	1997-98	1998	1998 *)	2000	1998	1998	1998
Sønderjylland	1998	1999	1999	2000	2000	03-2001	03-2001	12-2001
Sydvestjylland	1999	1999	2000	2000	03-2001	04-2001	04-2001	12-2001
Sydøstjylland	1999	1999	03-2001	03-2001	04-2001	05-2001	05-2001	12-2001
Østjylland	1999	2000	03-2001	04-2001	05-2001	06-2001	06-2001	12-2001
Vestjylland	1999	1999	03-2001	08-2001	09-2001	10-2001	10-2001	12-2001
Nordjylland	2000	02-2001	03-2001	09-2001	10-2001	11-2001	11-2001	12-2001
Bornholm	04-2001	06-2001	08-2001	09-2001	10-2001	12-2001	12-2001	12-2001

\*) som flodmodel er anvendt MIKE SHE flodmodel

Tabel 3.1. Passerede milepæle i etapevis modelopstilling i perioden 1996-2000 og tidsplan for 2001



Figur 3.1 Opdeling af DK-model på 11 regionale delmodeller

### 3.4 Opbygning og integrering af lokalmodeller for udvalgte overvågningsområder under vandmiljøplanen

Der er i løbet af projektforløbet af GEUS opstillet eller arbejdet med lokalmodeller ud fra DK-modellen eller opstillet i anden sammenhæng, for en række områder:

- Ejstrupholm (incl. GRUMO Ejstrupholm)
- Sneum å (oplandet til Holme, Sneum, Holsted og Kongeå)
- Østfyn (incl. GRUMO Nyborg)
- Svendborg (incl. GRUMO Svendborg)
- Vårby å (incl. GRUMO Eggeslevmagle)
- Bedsted/Bolbro (incl. LOOP Bolbro og GRUMO Bedsted)

For Svendborg, Vårby og Bedsted/Bolbro er anvendt Geoeditor (se MIKE SHE udvikling) til opstilling af mere detaljerede geologiske modeller, i stedet for DK-modellens geologi. For Østfyn er anvendt DK-modellens geologi og vandløbssetup, mens der ved de øvrige modeller er foretaget en detaljering af DK-modellen.

Arbejdet med disse lokalmodeller er sket i forskellige sammenhænge bl.a.:

- Afprøvning af zoneringsmetoder (Ejstrupholm, Sneum Å og Østfyn - Miljøstyrelsen, 2000)
- Kortlægning af grundvandsressourcen (Svendborg, projekt for Fyns amt i samarbejde med COWI - Ullum et. al, 2000)
- Strategisk Miljøforsknings Program – Pesticider og grundvand, SMP96 (Vårby å, indgår desuden i PhD studiet som feltlokalitet – Troldborg, 2000)
- Vidensyntese om økologisk jordbrug (Vårby å og Bedsted/Bolbro, Hansen et. al, 2001)
- GEUS input til Midtvejsevaluering af vandmiljøplan II (Henriksen et. al, 2000)
- Grundkursus i modellering (Bedsted/Bolbro)

Derudover har lokalmodellerne givet værdifulde første analyser af grundlæggende problemer ved at basere vurderinger af vandmiljøplanens effekt udelukkende på overvågningsdata fra NOVA2003 og på nitratkoncentrationerne i vandmiljøet. Det ene problem hænger sammen med at effekten bliver forsinket i op til flere år i overfladevandsystemet og op til flere årtier i de dybe grundvandssystemer. Denne konklusion understøttes for det dybe grundvands vedkommende af aldersdateringer. Svaret på dette problem er at det vil være ønskeligt at få modificeret overvågningsprogrammet, således at der i GRUMO områderne også lægges vægt på overvågning af de overfladenære systemer f.eks. dræn eller det øverste grundvand.

Det andet problem er at klimatiske variationer i form af forskelle fra det ene år til det andet i nedbør og vintertemperatur medfører store naturlige variationer i nitratudvask-

ningen. Disse variationer er ofte større end den ønskede effekt af Vandmiljøplanen. Det vil derfor være vanskeligt på et videnskabeligt sikkert grundlag at identificere en mulig ændring som kan henføres til Vandmiljøplanen, fordi datagrundlaget indeholder de store klimatiske betingede naturlige variationer, der i denne sammenhæng optræder som "støjkilde".

Modeller, som kan beregne den tidlige variation af nitratudvaskningen på baggrund af klimadata og landbrugspraksis, kan hjælpe med at reducere denne naturlige støjkilde, således at signalet (effekten af Vandmiljøplanen) optræder tydeligere og derfor lettere kan identificeres. En kombineret anvendelse af modeller og overvågningsdata vil kunne udnytte hele den værdifulde information, der gemmer sig bag dataene i NOVA2003. Det vil på sigt formentlig være den eneste måde hvorpå der kan gives entydigt svar på i hvor stor udstrækning Vandmiljøplanen har virket.

En af anvendelsesmulighederne for DK-modellen er, at den vil kunne danne grundlag for detaljerede simuleringer på lokal skala. Den regionale DK-model vil ideelt set kunne levere randbetingelser, grov geologisk model, modelsetup og parameterestimer til den lokale model. Da den regionale model og den lokale model arbejder på forskellige skalaer (af størrelsesorden 100 km for den regionale og eksempelvis 10 km for den lokale), vil det imidlertid være tvivlsomt, om kalibrerede parameterestimer vil kunne overføres direkte til den lokale model.

Opstilling af en lokal model vil typisk indebære følgende tiltag: (a) Anvendelse af finere diskretisering, (b) Detaljering af topografi og arealanvendelse svarende til den valgte diskretisering, (c) Detaljering af vandløbssystemet, med inddragelse af flere mindre vandløbsstrækninger og (d) Gentolkning af geologien svarende til den valgte diskretisering.

### 3.5 Ressourcevurderinger og simuleringer

Ressourcevurderinger og simuleringer vil blive gennemført og publiceret i forbindelse med temarapport om ferskvandets kredsløb i år 2002. Der er udarbejdet synopsis for denne temarapport (se bilag 2), som nærmere gør rede for indhold, målgruppe og fremgangsmåde ved opgørelsen af den udnyttelige vandressource. Rapporten udarbejdes med input fra amterne, DMI, DJF, DMU med udgangspunkt i den finkalibrerede DK-model.

Synopsis har været sendt til høring i efteråret 2000 og NOVA2003 aftaleudvalget kunne på et møde 1. december 2000 godkende den reviderede synopsis og tidsplan og GEUS's indstilling til aftaleudvalget på baggrund af høringssvar fra Miljøstyrelsen, DMU og en række amtskommuner.

Amterne er generelt positive overfor det overordnede indhold i synopsis. En række amter rejser dog spørgsmål til den dataindberetning GEUS i synopsis har skitseret (4 punkter). Dels giver amterne udtryk for at tidsfristen for levering af data er for kort og

dels ønsker amterne at GEUS konkretiserer f.eks. ved praktiske eksempler mere præcist hvad amterne skal levere. Endelig ser det ud til ud fra amternes tilbagemelding, at en ensartet vurdering af acceptabel vandløbspåvirkning i forbindelse med vurdering af recipientmæssig bæredygtig ressource kan blive vanskelig. GEUS havde derfor overfor aftaleudvalget indstillet nogen ændringsforslag, som blev tiltrådt af udvalget:

- der indføres en yderligere aktivitet i tidsplan og milepæle: Afklaring og konkretisering af input fra amterne, med varighed på i alt 3 måneder
- tidsplanen for alle de efterfølgende punkter rykkes 3 måneder, så rapport udsendes i 2002
- DMI søges inddraget som medforfatter til afsnit om nedbør og fordampning
- Input til acceptabel vandløb-/vandføringspåvirkning søges tilvejebragt ved inddragelse af DMU

På grund af problemer med bemanding af DK-modelprojektet i 2001, har GEUS imidlertid besluttet yderligere at udskyde temarapporten indtil DK-modellen er opstillet for hele landet, så afklaring og konkretisering af input fra amterne først iværksættes medio 2001. Temarapport om ferskvandets kredsløb publiceres som følge heraf i løbet af 2002.

### 3.6 National modeldatabase

Der er udarbejdet en vejledning i overførsel af modeldata til landsdækkende modeldatabase (GEUS rapport 1998/26). Erfaringer med modeldatabase er delte (Henriksen, 1997). Der er lagt mellem 10 og 20 modeller ind i databasen (typisk modeller opstillet af et rådgivende firma for Københavns Amt), men stort set ikke udtrukket regionale modeller fra basen, hvis man ser bort fra opsætninger fra den nationale vandressource model som også er lagt ind i basen. Disse er udtrukket til forskellige brugere (amter/rådgivere) for en del områder.

Erfaringerne kan sammenfattes ved:

- Den landsdækkende modeldatabase hos GEUS bør bibeholdes, så der centralt findes en opdateret oversigt over hvilke modeller der foreligger for forskellige områder (modelsetupfiler bør indberettes på CD-rom), og GEUS bør opdatere hjemmeside med oplysninger om modeller i basen og links til amter/rådgivere
- Standardiserede modelrapporter bør tillige indberettes på CD-rom på elektronisk format, idet det vurderes at de benyttede kvalitetsdokumenter ikke er et tilstrækkeligt grundlag for vurdering af en given modelopsætnings kvalitet og videre anvendelsespotentiale
- Udveksling af konkrete modelsetupfiler for modeller opstillet i amtsligt regi bør fremover ske direkte mellem amter og øvrige brugere
- Udveksling af modeldata vedrørende den landsdækkende vandressourcemodel vil fortsat ske med GEUS som den centrale aktør

Der er i år 2000 skitseret en model for udveksling af data fra DK-modellen og videreudvikling / opdatering af DK-modellen, baseret på 1/3 finansiering fra amterne, 1/3 finansiering via brugerbetaling og 1/3 finansiering fra GEUS, som har været drøftet med kontaktpersoner i amterne. Udgifterne til den årlige drift af DK-modellen, med et ambitionsniveau der svarer til at modellen opdateres med geologi, vandløbssetup og arealanvendelse hvert 4. år og med klimadata og oppumpning hver år, blev anslået til en årlig udgift på godt 2 mio. kr (svarende til 1.5 – 2 årsværk modellør-og geologbehandling).

Det fremgår af amternes svar at perspektiverne for anvendelsen af DK-modellen for amterne ligger i, at den kan bruges til en indledende afgrænsning af følsomme områder, som input til randbetingelser i forbindelse med detaljerede modelopstillinger samt ved regionale vurderinger af vandressourcens størrelse. Amterne tilkendegiver desuden en interesse i at modellen opdateres.

Da opstillingen af DK-modellen for en række områder ikke er færdig, har en del amter dog indtil videre svært ved at tage nærmere stilling til en yderligere involvering i DK-modellens fremtidige udvikling og drift, hvad der naturligvis er fuldt ud forståeligt. Der er desuden mange amter, der ikke anvender MIKE SHE, og i stedet anvender MODFLOW. Hvis DK-modellen skal have en succes, må den derfor nødvendigvis være konvertibel med andre modelkoder – eksempelvis MODFLOW. Der er derfor behov for at finde løsninger på dataudveksling, som tilgodeser flertallet af amternes behov.

Endelig finder amterne at finansiering via brugerbetaling muligvis ikke udgør en spise-lig model, idet det i givet fald vil blive amterne selv, der også kommer til at dække denne udgift. Hvis man indgå en aftale om udveksling af data fra DK-modellen ønsker man derfor at data frit kan udveksles til brug i anden sammenhæng. Amterne har samlet derfor svært ved at se, hvor GEUS's reelle andel af finansieringen af DK-modellens drift og vedligeholdelse er henne. GEUS må derfor finde en anden model for finansieringen, for at sikre DK-modellens forankring.

Sikringen af en fremtidig national modeldatabase hos GEUS som et videnscenter for modellering, hvori der indgår en løbende opdatering og videreudvikling af den Nationale vandressourcemodel, forudsætter derfor en løsning på følgende problemstillinger:

- 1) tilvejebringelse af en brugbar finansieringsmodel
- 2) forankring af amternes faglige deltagelse og involvering i DK-model (løsningsforslag: etablering af et videregående kursus i integreret vandressource modellering baseret på DK-model i efteråret 2001)
- 3) forbedring af dataudveksling mellem MIKE SHE og MODFLOW (løsningsforslag: samarbejde med DHI om iværksættelse af et udviklingsprojekt, som kan facilitere funktionaliteten i MIKE SHE med hensyn til behov for lettere dataudveksling og brug af forskellige modelkoder i amterne)

## 3.7 Nationalt ressourceovervågningsnet

### 3.7.1 On-line stationer

Der er ved udgangen af 2000 i alt 8 on-line stationer i drift. Syv af disse er koblet til fastnettet, og består hver af 1-3 vandstandsmålere og evt. 1 lufttryksmåler. Ved den ottende station sker opkoblingen via mobiltelefonnettet, denne stationstype består af en vandstandsmåler. I februar 2001 sættes yderligere 2 on-line stationer i drift, hvorved denne del af reorganiseringen af pejlestationsnettet er fuldendt.

Ved hovedparten af stationerne sker strømforsyningen ved hjælp af solpaneler. De første stationer blev sat i drift i slutningen af 1998, og har således stået gennem flere vintre uden at der på noget tidspunkt har været problemer med forsyningen af strøm. Solpanelerne klarede også vinterstormen i december 1999 uden beskadigelser.

Grundvandsstanden registreres hver sjette time, og data tappes rutinemæssigt en gang pr. måned. On-line stationerne tilses en gang årligt, hvor der foretages en manuel pejling af grundvandsstanden.

### 3.7.2 Stationer med dataloggere

Der er ved udgangen af 2000 i alt 27 pejlestationer som drives med dataloggere. Dataloggere tappes to gange årligt, hvor batterier skiftes og der foretages en håndpejling af grundvandsstanden. I løbet af 2001 vil yderligere 10 til 15 boringer blive instrumenteret med dataloggere, der med er denne del af GEUS's stationsnet færdigudbygget.

I 2000 er hovedparten af de lokale pejleobservatører opsagt, fem personer pejler fortsat i 2001, hvorefter også disse boringer vil være instrumenteret med dataloggere.

### 3.7.3 Amtsligt pejlestationsnet

I forbindelse med den forestående revision af NOVA-programmet vil GEUS foreslå at der opbygges et amtligt pejlestationsnet bestående af de eksisterende GRUMO-boringer suppleret med en række yderligere pejleboringer først og fremmest placeret i OSD-områder. Disse boringer skal primært afspejle naturlige variationer i grundvands trykniveau i forskellige magasiner. En vigtig anvendelse af disse pejledata vil være ved grundvandsmodellering i forbindelse med zoner og grundvandsbeskyttelse. Pejledata indsendes til GEUS i forbindelse med den årlige dataoverførsel i NOVA-programmet (STANDAT-format), og data præsenteres bl.a. ved den årlige rapportering.

Inddragelsen af de grundvandspejlinger som vandværkerne gennemfører i et nationalt pejlestationsnet med årlig rapportering mv. vurderes pt. at være for ressourcekrævende i forhold til informationsværdien på nationalt og regionalt niveau. Derimod bør det

sikres at de grundvandspejlinger, som vandværkerne foretager, gennemføres efter standardiserede metoder og lagres på elektronisk form på ubestemt tid, og at boringerne alle er lokaliseret med DGU nr. og indtagningsnummer svarende til oplysningerne i GEUS's Jupiter database.

#### 3.7.4 Pejledatabasen

I 2000 er der sket en sammenlægning af den hidtidige RDB-pejledatabase med GEUS's miljødatabasesystem Jupiter. Der er fremstillet et indlæsningsformat (dBase) til indlæsning af pejledatafiler i Jupiter databasen, f.eks. fra on-line stationer og datalogger stationer.

I 2000 er der arbejdet på at nedbringe 'puklen' af ikke-indlæste pejlekort i Jupiterdatabasen. Det har ikke været muligt at foretage manuel indlæsning af pejledata i basen i perioden 1996 til efteråret 2000 på grund af databaseomlægninger, tilpasninger til STANDAT-formatet mm. I 2001 bringes indlæsningen af manuelle og datalogger-pejlinger ajour med den løbende dataindsamling.

#### 3.7.5 Kvartårligt nyhedsbrev

Nyhedsbrevet er forsøgsvis startet op på den Nationale vandressourcemodels hjemmeside ([www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk)). Vandstandsvariationer fra on-line stationer præsenteres og kommenteres sammen med udvalgte nedbørsserier. Der præsenteres ligeledes længere tidsserie fra andre pejlestationer. Endelig indeholder nyhedsbrevet / hjemmesiden også korte temaartikler / noter om overvågning af grundvandsstanden og hydrologi.

Et temanummer i serien 'Geologi – Nyt fra GEUS' om grundvandspejlinger, det nye pejlestationsnet, vandindvinding og modellering er på tegnebrættet.

#### 3.8 Udvikling af modelmoduler til MIKE SHE systemet

En vigtig del af den nationale vandressourcemodel er det numeriske modelgrundlag, som tidligt i projektforsøget blev besluttet at skulle udgøres af DHI's integrerede, hydrologiske modelsystem MIKE SHE. For at kunne få det fulde udbytte af dette i forbindelse med DK-modellen blev der formuleret et udviklingsprojekt støttet af Erhvervsfremmestyrelsen med titlen: "Videreudvikling af matematisk vandressourcemodelsystem" (slutrapport til Erhvervsfremmestyrelsen, se bilag 3 eller [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk) hvor rapport og samtlige bilag kan hentes). Dette indeholdt fire udviklingstiltag, som tilsammen skulle forbedre grundlaget for etableringen af den Nationale Vandressourcemodel.

Disse udviklingstiltag havde overskrifterne:

- Geologisk Editor,
- Databaser,
- Densitetsstrømning og
- Skalering.

Af de 4 tiltag blev langt den største indsats anvendt til den første aktivitet nemlig udvikling af et geologisk fortolknings- og redigeringsredskab (Geoeditor). Vægtningen af de forskellige udviklingstiltag er aftalt løbende gennem projektet. Som et eksempel kan det nævnes, at det oprindelige modelsystem MIKE SHE indeholdt en "simpel" beskrivelse af vandløbsafstrømning, og på et tidspunkt i projektforsløbet blev det aftalt, at der skulle anvendes en anden og langt mere kompliceret og nøjagtig og også mere fremtidsikkert beskrivelse af vandløbsafstrømning baseret på vandløbsmodellen MIKE 11. Dette fik en del konsekvenser for udviklingstiltagene i den afsluttende fase af projektet.

Projektsamarbejdet omkring MIKE SHE udvikling har forløbet parallelt med den de øvrige aktiviteter i forbindelse med DK-modellen i perioden 1996-2000, og er afsluttet ved udgangen af 2000.

### 3.8.1 Udvikling af Geologisk Editor

Af GIS-baserede hjælperedskaber er der som et direkte arbejde mod udviklingskomponenten "Geologisk editor" udviklet produktet *GeoEditor* til digital geologisk fortolkning. *GeoEditor* giver et godt overblik over geologiske forhold i et område og anvendes til at etablere en geologisk forståelse – en såkaldt model - for det undersøgte område. *GeoEditor* kan endvidere indarbejde sekundær information i form af geofysiske målinger foretaget ved forskellige metoder f.eks. slæbegeol eller TEM. Desuden kan forskellige grafiske temaer importeres og danne baggrund for en fortolkning baseret på tidligere udtegnede fortolknings. Der kan foretages en inddeling af borer efter mange forskellige kriterier, f.eks. alle borer, hvor der er truffet et sandlag tykkere end 5 m. Dette gør det enkelt at kategorisere sine borer og kun arbejde med de væsentligste af disse.

I forhold til det oprindelige formål med denne del af udviklingsprojektet er dette opfyldt. Der er i det oprindelige formål specifikt nævnt, at modulet skulle kunne foretage geostatistiske bearbejdnings af rådata, men udviklingen af denne aktivitet er efter fælles overenskomst mellem GEUS og DHI ikke blevet prioriteret.

### 3.8.2 Udvikling af øvrige GIS-baserede værktøjer - interfaceprogrammer

Den oprindelige udviklingskontrakt omhandlede udvikling af et "modul med interfaceprogrammer til andre eksisterende databaser" med forskellig information omkring klima, arealanvendelse osv. Denne aktivitet har fået en drejning mod udvikling af gene-

relt anvendelige GIS-værktøjer, dels fordi mange data fra forskellige databaser kan rekvireres som GIS-temaer, dels fordi GIS forenkler databearbejdningen og resultatpræsentationen og giver et godt overblik i det daglige arbejde. Generelt er der fokuseret på at udvikle såkaldte extensions til GIS-programmet ArcView, som er internationalt anerkendt som det meget velegnet i vandressourceforvaltningen. Konkret er der udviklet 3 moduler; MIKE SHE Converter, UZ-editor og oppumpningseditor.

- MIKE SHE converter kan konvertere mellem forskellige simple formater, MIKE SHE modellens inputformater og ArcView shape filformat. Dette gør det meget anvendeligt som et redskab til håndtering af forskellige data og konvertere disse mellem GIS og MIKE SHE.
- UZ-editor kan på en meget overskuelig måde håndtere hydrauliske og geologiske karakteristika for etablering af en model for den umættede zone. Dette arbejde er ofte vanskeligt for typiske modellører, som har begrænset kendskab til denne del af det hydrologiske kredsløb.
- Oppumpningseditor er udviklet i en meget foreløbig version, men intentionen er, at brugeren skal kunne editere oppumpningsdata direkte i et GIS-miljø, således at referencen mellem tidsvarierende oppumpninger og deres placering i modelområdet kan overskues.

Der er som sådan ikke udviklet interfaceprogrammer til konkrete databaser, men fokuseret mere på at få nogle generelt anvendelige værktøjer udviklet. Derved er problemstillinger omkring ophavsrettigheder o.l. undgået, og modulet er som sådan mere fremtidssikret som et hjælperedskab i det daglige arbejde.

### 3.8.3. Udvikling af densitetsmodul

Udviklinger, som vedrører selve beregningskomponenterne i MIKE SHE, har været et *densitetsmodul* til beregning af densitetsbetinget strømning i grundvandszonen.

Af disse udviklinger refererer *densitetsmodulet* direkte til det i udviklingskontrakten nævnte "modul for salt-/ferskvands interface beregning i grundvandszonen". Modulet er baseret på et velafprøvet modelsystem udviklet af den amerikanske geologiske undersøgelse (USGS) kaldet HST3D. Dette modelsystem er direkte bygget ind i MIKE SHE og kan anvende samme data og resultater kan præsenteres i systemet. Modulet kan i en 3-dimensional grundvandsstrømning beregne interfacen mellem salt- og ferskvand, hvilket for eksempel kan forekomme i kystnære grundvandsmagasiner, som udnyttes til vandindvinding. Modulet opfylder som sådan udviklingskontrakten, men er kun testet i begrænset omfang og endnu ikke modnet til et salgbart produkt.

#### 3.8.4 Udviklingstiltag i forbindelse med op- og nedskalering

Udviklingskontrakten beskriver udviklingen af "et modul til transformation af parameterværdier mellem forskellige skalaer", og denne komponent har indeholdt forskellige aktiviteter. Der er som et fælles mål med et EU-financieret projekt kaldet UNCERSDSS (*uncertainty projektet*) undersøgt datatilgængeligheden i og anvendeligheden af regionale Europæiske databaser i forbindelse med regional modellering af nitratudvaskning, ligesom skalaafhængigheden på både strømningsberegninger og beregninger af nitratudvaskning er undersøgt. Der er ligeledes i dette projekt undersøgt effekter på strømningsberegninger af forskellige størrelser af beregningsnet.

Til undersøgelse af skalaeffekter i forbindelse med beregningen af udvekslingen mellem grundvand og vandløb er udviklet en "prototype" af en *finite element grundvandsløser*. Det har dog vist sig, dette arbejde ikke umiddelbart har ført til en endelig løsning i forhold til den oprindelige formulering i udviklingskontrakten. Udviklingskomponenten har ikke fået tilstrækkelig fokus i forhold til andre mere presserende udviklingstiltag.

#### 3.8.5 Udvikling af øvrige komponenter

Der er udviklet en *integreret stationær løser* for modelsystemet, forbedret *kobling* mellem grundvandskomponenten og overfladekomponenten, et *rutningsmodul* til vandløbsmodellen MIKE 11 og forskellige forbedringer af MIKE SHE's *partikelbanemodell*. Disse udviklingstiltag har været nødvendige for etableringen af den nationale vandressourcemodel, og er som sådan aftalt løbende mellem GEUS og DHI.

Andre hjælperedskaber, som direkte eller indirekte er udviklet under dette arbejde, men som under alle omstændigheder har været enten nødvendige for arbejdet eller en stor hjælp, har været et meget avanceret *vandbalanceprogram* samt et program til beregning af forskellige *statistiske afvigelser* mellem modelberegninger og målinger. Derudover er der udviklet et program til opstilling af en anden type geologi end den sædvanlige, *GeoDbase*.

#### 3.8.6 Test af udviklede moduler og vurdering af anvendelsespotentiale

De gennemførte udviklingstiltag har sikret en fornuftig gennemførelse af etableringen af den Nationale vandressourcemodel. Derudover er bl.a. Geoeditor og UZ-editor blevet afprøvet og testet af GEUS i forbindelse med konkrete projekter på en mindre skala. GeoEditor er således blevet testet for en række områder på Sjælland, Fyn og i Jylland og UZ-editor er testet for et område i Sønderjylland. Det har vist sig at de udviklede moduler er anvendelige og har et stort potentiale i forbindelse med den zonerings af grundvandsressourcen, der skal gennemføres i de kommende år med en tilhørende modellering af de forskellige indsatsområder.

GeoEditor er overført til en del danske amter og rådgivere, og anerkendes som et fornuftigt redskab i forbindelse med analyse af geologiske og geofysiske data. Produktet er markedsført internationalt, hvor der er et stigende behov for indsamling, bearbejdning og fortolkning af geologiske data. Begrænsningen i udbredelsen af produktet i Danmark ligger i dens tilknytning til et relativt avanceret og dyrt GIS produkt (ArcView), idet en række potentielle kunder anvender et billigere GIS produkt (MapInfo). Der er dog tilsyneladende stadig flere, som går over til ArcView, hvilket øger markedsmulighederne.

De generelle GIS interface programmer har stor anvendelsesmæssig betydning; uden kobling til GIS er der sandsynligvis ingen fremtidige brugere af modelsystemet i vandressourceforvaltningen. Produktet er siden dets produktmodning blevet en fast bestanddel af MIKE SHE modelpakken, når den bliver solgt.

Der er potentielt store anvendelsesmæssige muligheder med densitetsmodulet; efterspørgslen internationalt efter rådgivningsydelser, som indeholder en komplet vurdering af vandressourcen specielt i kystområder, hvor grundvandsressourcen er begrænset og sårbar, er stigende. Som et modul, der efterfølgende kan anvende alle de samme data, som den integrerede vandressourcemodel, er der med udviklingen af densitetsmodulet skabt grundlag for anvendelser indenfor nye områder.

Undersøgelserne omkring skalaeffekter af forskellige parametre har ført til en større forståelse for problematikken. Der er ikke udviklet egentlige moduler, som med rette kan siges at have nogen markedsmæssig betydning.

DHI vil i de følgende år – blandt andet på basis af de udviklingstiltag, som er gennemført under nærværende udviklingskontrakt – fortsætte udviklingen af modelværktøj til vandressourceforvaltning. Fokus i den kommende tid vil være dels på at udvikle meget brugervenlige interfaces til de eksisterende modelsystemer, dels på at udvikle en helt ny arkitektur i modelkoderne baseret på objektorienteret programmering. Dette bevirker at koderne kan kobles sammen med andre koder eller dele af andre koder, ekstene brugere kan udvikle og tilkoble deres egne rutiner og den daglige brug og vedligeholdelse bliver væsentlig mere fleksibel og effektiv.

Ovenstående var et redigeret uddrag af slutrapport til Erhvervsfremmestyrelsen. "Videoreudvikling af matematisk vandressourcemodelsystem". DHI, Institut for Vand og Miljø. December 2000, som kan hjemtages fra [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk), som udover hovedrapport indeholder følgende bilag:

Bilag A: GeoEditor - a Tool for Geological Modelling and Editing in GIS

Bilag B: GeoEditor - User Manual

Bilag C: MIKE SHE Converter

Bilag D: UZ-editor

Bilag E: UZ-editor 2000. User Guide. Soil properties setup in unsaturated zone

Bilag F: Oppumpningseditor

Bilag G: Development of a Density Driven Flow Module for MIKE SHE based on HST3D

Bilag H: Hydrological Run-off in MIKE 11 - Draft

Bilag I: MIKE SHE WQ - User Manual Particle Tracking Module

Bilag J: Program documentation of the program LEVEL2LAYER.EXE

Bilag K: Betydningen af storskala modellering

Bilag L: Finite Element - A Way to Solve for Scale Problems

Bilag M: MIKE SHE PP - User Manual Water Balance Utility

Bilag N: MIKE SHE PP - User Manual Calibration Statistics Utility

Bilag O: User Guide for Geological Database Utility

### 3.9 Evaluering og temamøder

#### 3.9.1 Opfølgning på midtvejsevaluering i maj 1999

Ekspertpanelet ved midtvejsevalueringen af den Nationale vandressourcemodel konkluderede i maj 1999 (se bilag 3):

*GEUS har ambitiøst satset på at udvikle en National vandressourcemodel. Selvom man er et år forsinket i forhold til den oprindelige tidsplan, ser det ud til, at der vil kunne opstilles en landsdækkende model. De opstillede formål er rimelige og ser ud til at blive opfyldt. Dog er den videnskabelige del vedr. grundvandsdannelsesprocesserne indtil videre svag. Det nu igangsatte PhD studium kan rette op herpå. Et nationalt projekt som dette forudsætter, at man har amterne med sig. Det burde være muligt, at man aktivt involvere amterne specielt ved den fremtidige formulering af scenarier. Det er vigtigt for DK-modellens fremtid, at de nødvendige ressourcer til vedligeholdelse og løbende ajourføring sikres. DK-modellen med sit forenkede rodzonemodul synes at fungere godt ved beskrivelsen af grundvandsressourcerne for Fyn og Sjælland, men det anbefales, at denne rodzonedel testes mere særskilt med tanke for anvendelsen for Jylland. Der er behov for en videnskabelig opstramning indenfor projektet, specielt med henblik på publicering i internationale tidsskrifter. Informationsaktiviteten rettet mod brugerne og offentligheden har været god.*

Ekspertpanelets vurderinger har været grundlaget for at der efter evalueringen har været rettet større fokus på grundvandsdannelsen, som beskrevet ovenfor. Det er dels sket i form af valideringen af rodzonemodulet i forhold til Daisy beregninger, dels sket ved en opstramning af modelkalibreringen ved introduktion af invers modellering og dels sket i forbindelse med PhD studiet.

Involveringen af amterne i projektet er indtil videre lykkedes i forbindelse med temarapport om ferskvandets kredsløb. Det er vigtigt at der etableres et mere formelt forum for drøftelserne med amterne i efteråret i forbindelse med simuleringer af den udnyttelige vandressource, og der vil i foråret 2001 blive arbejdet videre med disse spørgsmål.

Med hensyn til publicering er der opstillet en plan for publicering som omhandler 3 artikler til internationale tidsskrifter:

1. Construction of a national hydrological model for Denmark (Journal of Hydrology med fokus på baggrund, Sjællands model, kalibrering og validering, invers modellering for område Nordøst)
2. Application of a national hydrological model for water resources predictions in Denmark (Nordic hydrology eller Water Resources Management med fokus på baggrund, formål og simuleringsscenerier)
3. Importance of geological data and interpretation and of scaling in a regional groundwater model (Groundwater eller Water Resources Research med fokus på Svendborg området og forskellige geologiske modeller baseret på slice tolkning contra profiltolkning samt skaleringsproblematik)

Arbejdet med artikler til 1 og 3 (artikel 2 udskydes indtil temarapport igangsættes) er påbegyndt.

### 3.9.2 Vurdering af opnåede resultater i forhold til opstillede succeskriterier

#### *Succeskriterie 1. Igangsættelse af PhD studie*

Kriteriet vurderes fuldt ud opfyldt med igangsættelse af PhD studie pr. maj 1999. At fokus er ændret begrundes relevant jf. behov i forbindelse med zoneringsen.

#### *Succeskriterie 2. Medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen*

Kriteriet vurderes fuldt ud opfyldt som følge af at der er opnået medfinansiering fra Erhvervsfremmestyrelsen til MIKE SHE udvikling.

#### *Succeskriterie 3. Publicering i anerkendte, internationale tidsskrifter og populærartikler i danske tidsskrifter*

Dette kriterium er kun delvist opfyldt. Formidling overfor brugere og offentlighed har været god bl.a. i kraft af den etablerede hjemmeside. Der mangler dog fortsat en publicering i internationale tidsskrifter, som der nu arbejdes målrettet på med ovenstående 3 "drejebøger" til artikler.

#### *Succeskriterie 4. Seminar/symposium om vandressourcer og temamøder i 1996, 1999 og 2000*

Dette kriterium vurderes stort set opfyldt. Der har været afholdt adskillige temamøder hvor DK-modellen har været præsenteret, og der planlægges yderligere præsentationer i 2001 (bl.a. Vingsted ATV vintermødet). Der blev afholdt midtvejsevaluering (2 dage) i 1999. Det kan eventuelt overvejes at arrangere et slutseminar når modellen er opstillet for hele landet og når der foreligger resultater af simuleringer af den udnyttelige vandressource i forbindelse med temarapporten. Slutseminaret skal i givet fald anvendes som en slags afleveringsforretning til amterne.

#### *Succeskriterie 5. Periodisk formidling*

Er stort set opfyldt som følge af den løbende opdatering af hjemmesiden. Det kan overvejes at udbygge opdateringen fra on-line stationer, så den automatiseres yderligere.

#### *Succeskriterie 6. Medfinansiering fra Forskningsministeriet til IT mv.*

Er ikke opfyldt. I stedet er opnået en medfinansiering fra GEUS's direktørpulje til etablering af 10 on-line stationer.

#### *Succeskriterie 7. Revision af Vandmiljøplan / integrering af kvantitet og kvalitet*

Dette kriterium er endnu ikke opfyldt, men der er muligheder for i forbindelse med temarapport og revision af VMP II at komme nærmere en opfyldelse af kriteriet.

Samlet vurderes det, at de opstillede succeskriterier enten allerede er blevet opfyldt, eller vil kunne opfyldes i løbet af de kommende 1-2 år, i takt med afslutning af PhD studiet, publicering af projektets resultater i internationale tidsskrifter og temarapport om ferskvandets kredsløb.

#### **4. REALISERET BUDGET**

Det realiserede budget fremgår af tabel 3.1 for perioden 1996-2000. I alt er der i projektperioden realiseret et lønbudget på 11.824 t.kr. mod et budget på 11.340 t.kr (se bilag 1). Der blev imidlertid kun stillet en projektøkonomi til rådighed for GEUS, svarende til de første 4 år af projektkontrakten (1996-1999), der omfattede et budget på 9.085 t.kr. Forbruget til løn i 2000 er derfor stort set finansieret af GEUS's basismidler.

På udlægssiden blev realiseret i alt 2579 t.kr. mod et budget på 3740 t.kr. for projektperioden 1996-2000. Det bevilgede udlægsbudget for 1996-99 udgjorde her 3210 t.kr. En væsentlig årsag til at de bevilgede udlæg ikke blev fuldt ud realiseret var, at aldersdatering er medtaget i det realiserede budget som en lønomkostning i stedet for et udlæg (budget for aldersdatering var 400 t.kr. for 1999-96).

Budget og Resultat 1996 – 2000 (T Kr)	Budget 1996	Realiseret 1996	Budget 1997	Realiseret 1997	Budget 1998	Realiseret 1998	Budget 1999	Realiseret 1999	Budget 2000	Realiseret 2000	SUM *) Oprindelig Budget	SUM Realiseret Budget
<u>National Vandressource Model</u>												
Nedsivningsmetoder (PhD)	225	0	300	0	300	0	175	214	0	200	900	589
Arealanvendelse via satellitdata			150	114	410	126	100	22	0	70	850	343
Etapevis modelopbygning	1.225	862	1.200	1711	1.300	1.917	1.578	1.600	1500	1309	6525	7499
Lokalmodeller	145	110	130	197	0	67	141	146	385	195	900	715
Ressourcevurdering	70	40	70	93	0	78	0	0	135	51	405	262
Modeldatabase	70	18	70	49	0	106	100	108	100	37	480	318
<u>Nationalt pejlestationsnet</u>												
Kravspecifikation, etablering af database m.v.	400	181	200	332	200	294	130	147	0	184	800	1138
Evaluering & temamøder	70	84	135	275	70	124	100	129	135	78	480	690
Aldersdatering	0		0	246	0	80	59	55	100	0	0	381
GEUS lønomkostninger	2205	1295	2255	3017	2280	2792	2383	2421	2255	2124	11340	11824
Aldersdateringer (CFC-analyser)	50	0	100	0	100	0	0	0	100	0	500	0
Øvrige data (tidsserier m.v.)	50	18	50	61	50	46	120	117	90	143	290	385
Pejlestationsnet (software, Logging etc.)	250	93	450	397	300	198	75	35	0	90	1000	813
Opgradering af arbejdsstation inkl. Netværk		57		30	175	32	25	24	0	55	175	198
Opgradering af modelsoftware, Modeldatabase m.v.	115	19	40	11	40	18	10	4	40	11	375	63
Samarbejdspartner DHI, DMU Modelopbygning og aftestning Samt afstrømningsmålinger	200	62	200	166	300	304	518	579	300	0	1400	1111
Udlæg i alt	665	249	840	665	965	598	748	759	430	299	3740	2570
Total	2870	1544	3095	3682	3245	3390	3131	3180	2785	2423	15080	14394

Tabel 3.1 Realiseret budget 96-00

## 5. REFERENCER

Referencer er ordnet i "omvendt kronologisk" rækkefølge.

### 5.1 Postere

Troldborg, L. (2000): Effects of geological complexity on groundwater age predictions. American Geophysical Union. San Francisco. December 2000.

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

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.

### 5.2 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 parameters*. 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.

### 5.3 Videnskabelige artikler publiceret i proceedings uden review

Henriksen, H.J. (2001): *Hvornår kan vi forvente at kunne se en effekt af vandmiljøplanerne i grundvand og overfladevand*. ATV vintermøde om grundvandsforurening. Marts 2001.

Henriksen, H.J., Trolborg, L. and Nyegaard, P. (1999): *National Water Resource 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.

Henriksen, H.J. and Stockmarr, J. (1999): *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/)

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

Henriksen, H.J. (2000): *Betydning af samspil mellem grundvand og overfladevand for vandløbspåvirkning, eksempler ud fra DK-modellen*. DVK temamøde den 22. marts 2000.

Refsgaard, J.C. (2000): *Beregning af vandbalance og aktuel fordampning på oplands- og national skala*. DVK temamøde. November 2000. Foulum.

Jakobsen, P.R. (1997): *Glaciotectonic 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.

## 5.5 Populærartikler i bl.a. danske tidsskrifter

Madsen, B. (2000): *Vandressourcer – et område af stor strategisk betydning*. GEUS årsberegning 1999 ([www.geus.dk](http://www.geus.dk))

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.

## 5.6 Rapporter

Hansen, B., Ernstsen, V. og Henriksen, H.J. (2001): *Status omkring grundvandsbeskyttelse ved omlægning til økologisk jordbrug*. Forskningscenter for Økologisk jordbrug. FØJO-rapport nr. 10/2001. Januar 2001.

Ullum, M., Nyegaard, P. og Henriksen, H.J. (2000): *Grundvandsmodel for Svendborg området*. Modelopsætning, kalibrering og tre scenarier. GEUS rapport 2000/42.

Henriksen, H.J. (1999): *National vandressource model*. Midtvejsrapport. Status – maj 1999. GEUS rapport 1999/20 (kan hjemtages fra [www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk)).

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.

## 5.7 Hjemmeside

Følgende artikler eller notater er alene publiceret på hjemmesiden som elektronisk publikation:

Christensen, B. og Henriksen, H.J. (2000): *Test af DK-modellens rodzonemodul*.

Christensen, B., Henriksen, H.J. og Nyegaard, P. (2000): *Status for arbejdet med DK-model Jylland*. Marts 2000.

Christensen, B., Henriksen, H.J. og Nyegaard, P. (2000): *Development of the National Water Resources Model for Jutland*. Maj 2000.

Christensen, S., Bengtsson, L., Sonnenborg, A. og Ammitsøe, C. (1999): *Evalueringspanelets rapport vedr. midtvejsevaluering af projektet: National Vandressource Model*.

Fact sheet "National Water Resources Model". Maj 2000.

Henriksen, H.J., Nyegaard, P., Ernstsen, V., Rasmussen, P., Trolborg, L. og Refsgaard, J.C. (2000): *Betydningen af grundvandets strømningsveje, opholdstider og nitratreduktionskapacitet for kvælstofbelastningen af vandmiljøet. GEUS input til DMU/DJF's midtvejsevaluering af VMP II*. September 2000.

Refsgaard, A., Christiansen, J.S., Petersen, M.J. og Jessen, O.Z. (2000): *Slutrapport. Videudvikling af matematisk vandressourcemodelsystem*. DHI, Institut for Vand og Miljø. December 2000. Incl. bilag A – O.

*Ståbi i grundvandsmodellering*. Kapitel 0-17.

Sonnenborg, T., Christensen, B.S.B. og Henriksen, H.J. (2000): *Invers kalibrering af DK-model Sønderjylland*. December 2000.

**BILAG**

Bilag 1. Projektkontrakt mellem Miljø- og Energiministeriet og Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. 22.12.95.

## Bilag 2. MIKE SHE sluttrapport. December 2000.

## Bilag 3. Rapport fra midtvejsevaluering i maj 1999.