

# Kapitel 5. Vandkvalitet og kvantitet hænger sammen

Hans Jørgen Henriksen og Alex Sonnenborg, GEUS

<b>Kapitel 5. Vandkvalitet og kvantitet hænger sammen</b>	<b>1</b>
5.1 Kapitel sammenfatning .....	2
5.2 Formålet med NOVA .....	3
5.3 Kortfattet beskrivelse af vandkredsløbet og elementer i opgørelsen af den udnyttelige vandressources størrelse .....	6
5.3.1 Begrænsninger i ressourcen som følge af påvirkning af vandkvalitet forårsaget af belastninger fra terræn (bl.a. arealanvendelse) .....	6
5.3.2 Begrænsninger i grundvandsressourcen som følge af intensiv vandindvinding / overudnyttelse og afsenkning af grundvandspejlet .....	10
5.3.3 Begrænsninger i ressourcen som følge af maksimal påvirkning af vandløb, søer og vådområder .....	12
5.3.4 Vandrådets opgørelse af udnyttelig grundvandsressource .....	13
5.3.5 Skalaeffekter .....	15
5.4 Vandrammedirektivet .....	18
5.5 Forudsætninger for nye opgørelse af vandressourcen .....	19
5.6 Referencer .....	20

Nærværende Kapitel 5 giver en kortfattet beskrivelse af formålet med NOVA programmet og en indføring i hvordan resultater fra overvågningsprogrammet, bl.a. den konstaterede forurening af det øvre grundvand, har betydning for den udnyttelige drikkevandsressources størrelse. Der gives forslag til indikatorer for udnyttelig grundvandsressource, som integrerer vandkvalitet og kvantitet.

Den udnyttelige drikkevandsressource er begrænset både som følge af vandkvalitets og – kvantitets aspekter. Overordnede resultater af NOVA med hensyn til kvalitetsproblemer for nitrat, pesticider og anden forurening viser, at det øvre grundvand er forurenede i meget betydeligt omfang, og dermed ikke umiddelbart udnytteligt som drikkevandsressource. Hertil kommer at der også er begrænsninger som skyldes for stor afsenkning af grundvandspejlet bl.a. i dele af Københavnsområdet. Der argumenteres for hvordan disse forhold kan tages i betragtning i forbindelse med ressourceopgørelsen, ved at bruge indikatorer der tager udgangspunkt i grundvandsdannelsen til dybere magasiner (fortsat uforurenede).

En anden væsentlig begrænsning for den udnyttelige ressources størrelse, er knyttet til grænserne for påvirkningen af det akvatiske miljø i overfladevand (vandløb, søer og vådområder). Der argumenteres for indikatorer baseret på max. påvirkning af minimumsafstrømning og middelfaststrømning. Nødvendige skalaforhold i opgørelsen skitseres, bl.a. i relation til drikkevandsområder og EU's nye Vandrammedirektiv. Principper for håndtering af klimavariation i ressourceopgørelsen skitseres.

## 5.1 Kapitel sammenfatning

Overvågningsprogrammet for grundvand viser, at 20 % af det øvre grundvand er forurenet med nitrat og pesticider over grænseværdien og at ca. halvdelen af de øvre filtre viser tegn på påvirkning. I dybder større end ca. 50 m er kun en ringe del af grundvandet forurenet.

Grundvandsdannelsen i en dybde på 30-50 m er udvalgt som en indikator for hvor meget rent grundvand, der er til rådighed. Det vurderes, at der kan tages ca. 1/3 af grundvandsdannelsen i denne dybde, uden at det medfører forøget risiko for forurening fra øvre lag eller for frigivelse af stoffer som følge af grundvandssænkning.

To indikatorer beskriver grundvandsressourcens størrelse med udgangspunkt i grundvandsdannelse til dybereliggende magasiner.

Forureningen af det øvre grundvand har central betydning for både kvaliteten af det fremtidige drikkevand, som for en væsentlig del hentes fra større dybde, men også for kvaliteten af det vand, der her og nu strømmer til vandløb og søer. På grund af forureningen af det øvre grundvand skærpes grænserne for, hvor meget vi kan pumpe op og fjerne fra strømmen af rent grundvand fra dybere magasiner til vandløb og søer.

Det vurderes, at der kan tages ca. 1/10 af middelfaststrømningen i vandløb, som består af drænafaststrømning og grundvandsafstrømning fra både øvre og dybere magasiner.

En acceptabel påvirkning af minimumsvandføringen i sommerperioden (baseflow) i vandløb, som domineres af grundvandsafstrømning fra både øvre og dybere magasiner, vurderes i forhold til fastsatte recipientmålsætninger for de enkelte vandløbsstrækninger (5, 10, 15, 25 og 50 % påvirkning i forhold til referencesituation "uden oppumpning").

To indikatorer beskriver ressourcens størrelse med udgangspunkt i maksimal påvirkning af grundvandsafstrømning til vandløb

Klimavariationer betyder, at grundvandsdannelsen og påvirkningen af især middelfaststrømningen har betydelige tidslige variationer, der skal tages højde for i ressourcevurderingen. Dette er specielt vigtigt for Nordsjælland og i Vestjylland, men spiller overalt i landet en vigtig rolle, når udviklingen i det øvre grundvand og i f.eks. vandløb skal analyseres.

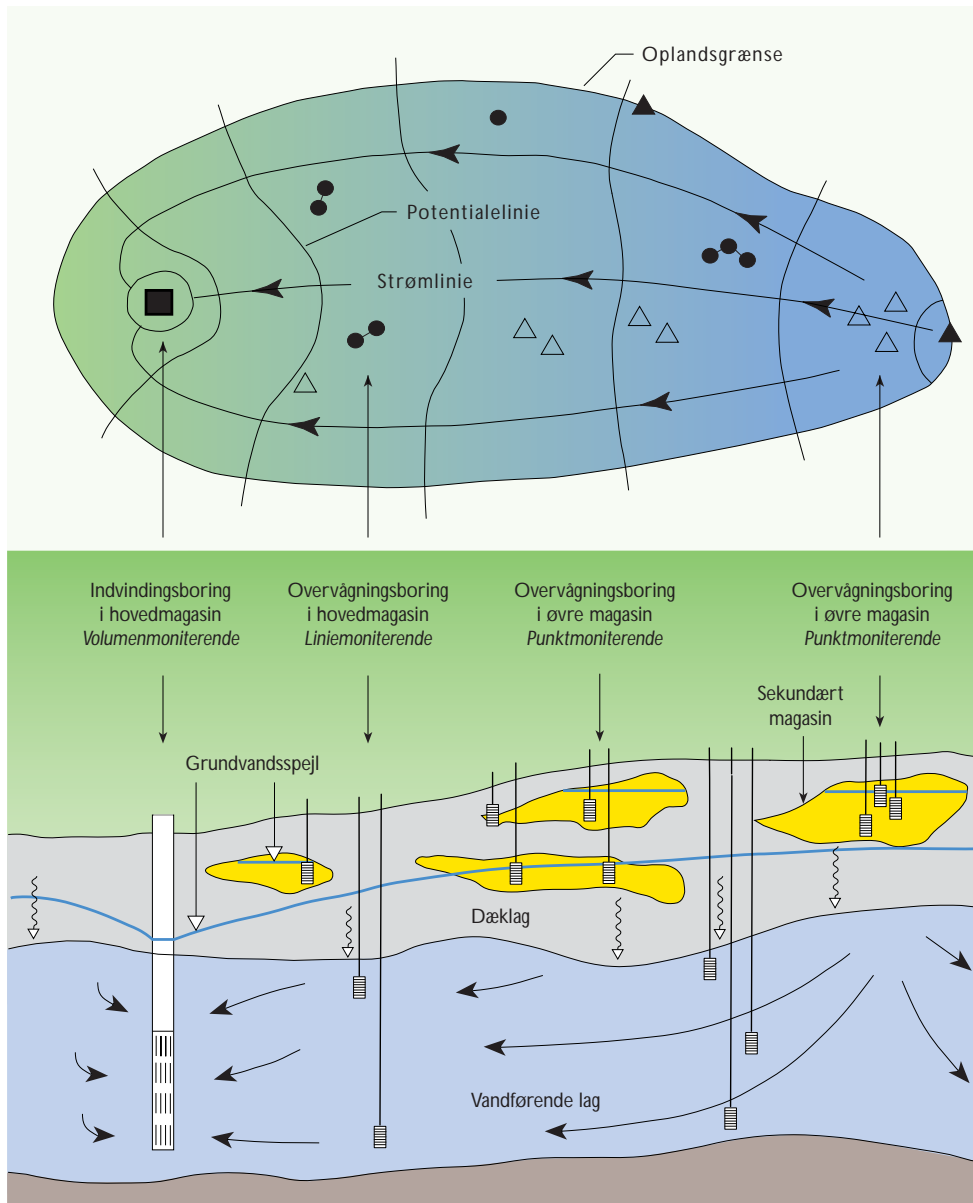
Vandforvaltningen har behov for at kunne vurdere ressourcens størrelse på forskellige skalaer (national, vandområdedistrikt-VOD, områder med særlige drikkevandsinteresser-OSD, indsatsplan- og markniveau). Den nationale vandressourcemodel kan sige noget kvalificeret om vandkredsløbet og ressourcens størrelse på en skala fra 50-100 km<sup>2</sup> og opefter - på landsplan og for VOD skalaen, samt bidrage som "referenceramme" (konceptuel model, randbetingelser, parameterværdier, grundvandsdannelse mv.) for vurderinger på mindre skala. Modellen er ikke detaljeret nok til at beskrive stoftransport generelt.

## 5.2 Formålet med NOVA

Formålet med det nationale program for overvågning af vandmiljøet for perioden 1998-2003 (Miljøstyrelsen, 2001), er:

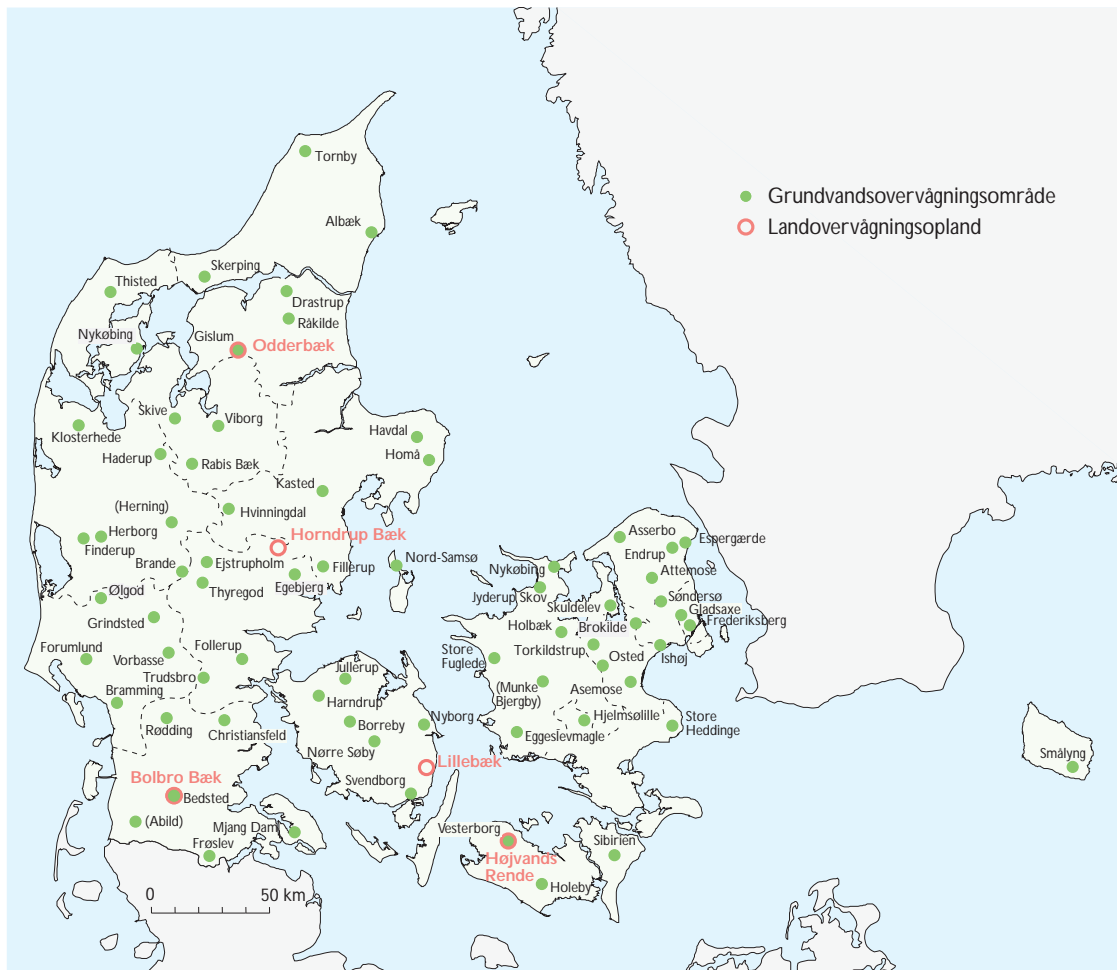
- at foretage en vurdering af miljøtilstanden, udviklingen heri og påvirkningerne af grundvand, vandløb, søer og havet gennem en systematisk indsamling af data,
- at supplere det generelle tilsyn med vandmiljøet der gennemføres i amterne i henhold til miljøbeskyttelsesloven,
- at eftervise effekten af reguleringer og investeringer, der er vedtaget i Vandmiljøplanen,
- at eftervise effekten af øvrige foranstaltninger til beskyttelse af vandmiljøet herunder de vedtagne planer for en bæredygtig udvikling i landbruget, Vandmiljøplan II samt amternes målsætninger for vandområdernes kvalitetstilstand, og
- at kunne bidrage til at skabe et beslutningsgrundlag for, om der skal iværksættes yderligere forureningsbegrænsende foranstaltninger med henblik på at nå de vedtagne målsætninger for kvaliteten i vandmiljøet.

Den landsdækkende grundvandsovervågning, som er en del af NOVA, har haft til formål at registrere grundvandets belastning med kvælstof og fosfor, samt generelt at følge udviklingen i grundvandsressourcens kvalitet og størrelse. Endelig har det været et formål at beskrive kvaliteten af det vand, der udgør basistilstrømningen til de danske ferske vande. Der er etableret i alt 67 grundvandsovervågningsområder (GRUMO), hver udbygget med ca. 15-20 overvågningsindtag fordelt i hovedmagasinet (liniemonitering), øvre sekundære magasiner (punktmonitering) og en indvindingsboring (volumenmonitering), se figur 5.1.



Figur 5.1 Principskitse af Grundvandsovervågningsområde (Andersen, 1987)

Grundvandsovervågningen omfatter desuden 77 indtag i fire redox-boringer, sidstnævnte etableret i 1998-99. Hertil kommer ca. 85 indtag i grundvandet i fem landovervågningsoplande (LOOP). Placeringen af de 67 grundvandsmoniteringsområder og 5 LOOP områder fremgår af figur 5.2. Udover dette program sker der en overvågning af det grundvand, der indvindes ved vandværkernes boringer (boringskontrol).



Figur 5.2 Grundvandsovervågningen i Danmark omfatter 67 grundvandsovervågningsområder (GRUMO) og 5 landovervågningsoplande (LOOP).

Ved tilrettelæggelse af overvågningsystemets faglige elementer er hovedvægten lagt på:

- programelementer, der beskriver miljøtilstanden og udviklingen i grundvand, vandløb, søer og marine områder. Programmet er tilrettelagt, så der bliver gjort rede for væsentlige påvirkninger af vandmiljøet med det sigte at belyse årsags-virkningssammenhænge,
- opgørelse af udledninger og tilførsler af næringsstoffer, miljøfremmede stoffer og tungmetaller til vandmiljøet. Opmærksomheden er især rettet mod udledninger fra punktkilder, dyrkningsrelaterede tab til vandmiljøet samt tilførsler til havet via vandløb og nedfald fra atmosfæren, og
- målinger af forekomst og effekt af miljøfremmede stoffer og tungmetaller i såvel grundvand- og overfladevand som slam, gylle, sediment og biota.

### **5.3 Kortfattet beskrivelse af vandkredsløbet og elementer i opgørelsen af den udnyttelige vandressources størrelse**

En bæredygtig udnyttelse af grundvandet er baseret på, at der dannes mindst lige så meget nyt, rent grundvand, som det vi indvinder, samt at udnyttelsesgraden ikke er større, end at grundvandskvaliteten og rest-vandføringen i f.eks. vandløb fortsat er acceptabel.

Bæredygtig grundvandsudnyttelse må fokusere på at tilvejebringe tilstrækkelige mængder vand af en tilstrækkelig god kvalitet til drikkevand og husholdninger, akvatiske økosystemer, markvanding og industri for nuværende og fremtidige generationer. Udbredt forurening af terrænnære magasiner samt klimavariationer har forøget konkurrencen om det rene vand blandt de forskellige brugere.

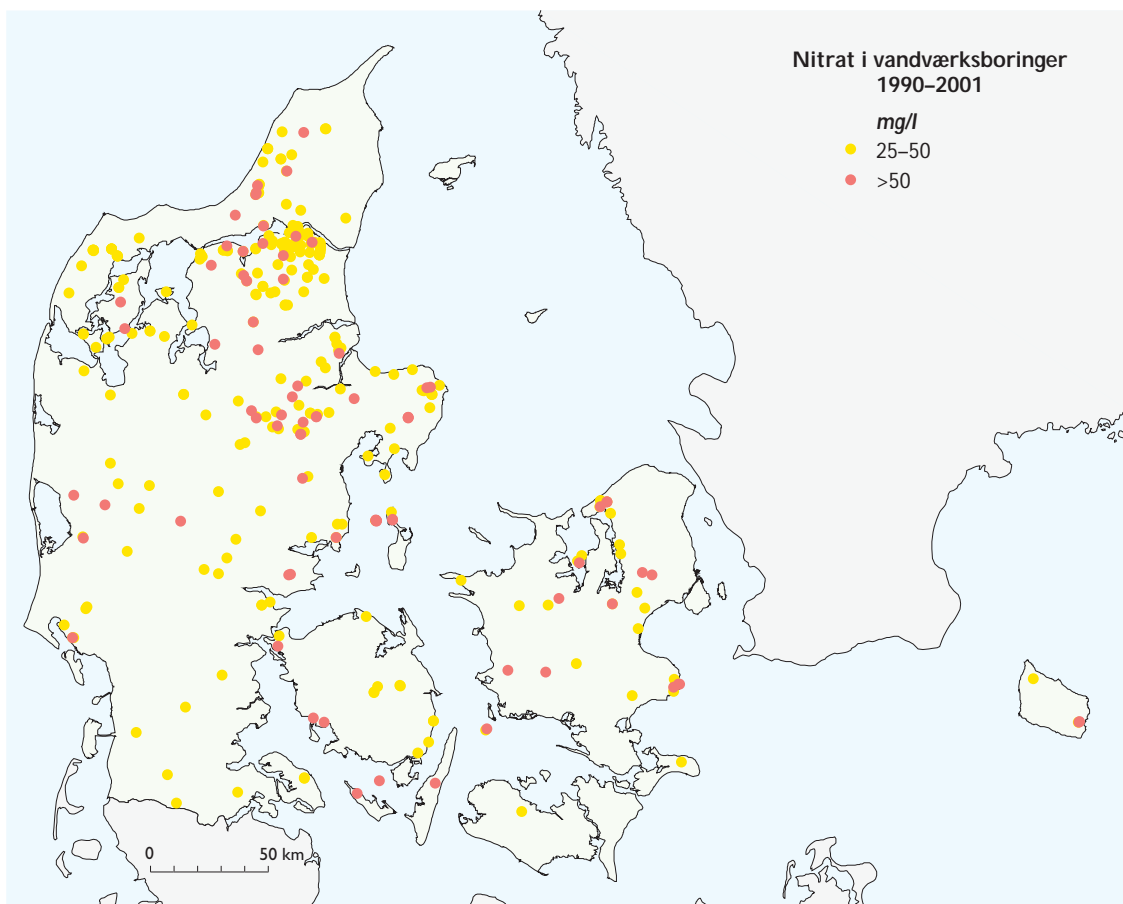
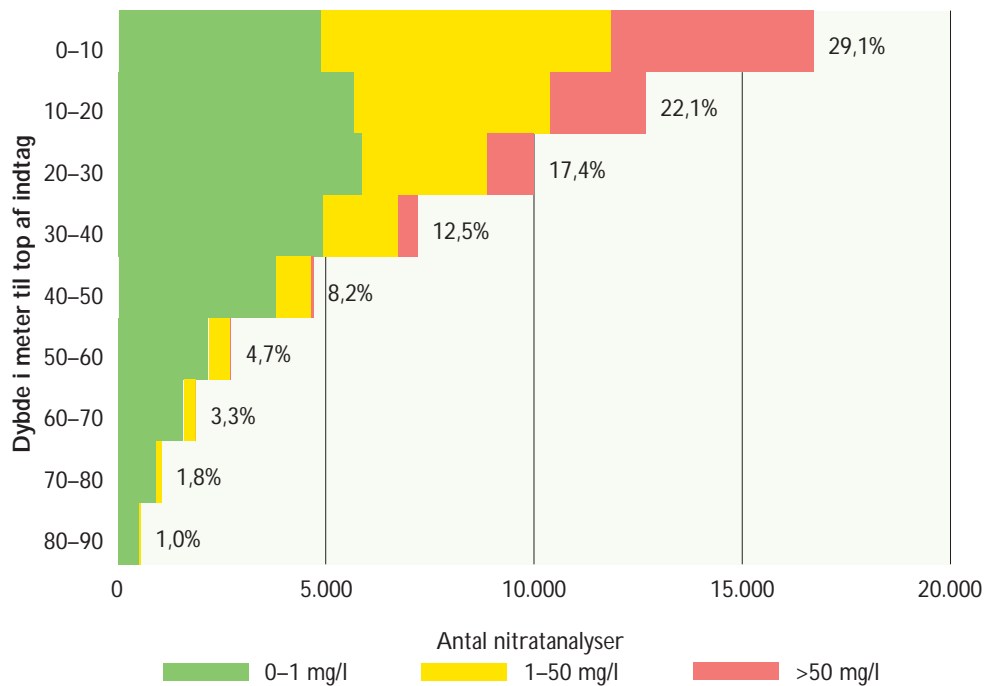
#### **5.3.1 Begrænsninger i ressourcen som følge af påvirkning af vandkvalitet forårsaget af belastninger fra terræn (bl.a. arealanvendelse)**

Gennem de seneste år er der konstateret mange tilfælde af forurening af vores grundvandsmagasiner med bl.a. nitrat, klorerede opløsningsmidler og pesticider (se figur 5.3, 5.4 og 5.5). En del tilfælde har medført lukning af forurenede vandindvindingsboringer. Kilderne til grundvandsforureningen er mange, f.eks. lossepladser og kemikalieaffaldsdepoter, landbrug og plantager, gårdspladser, veje og parker, industri- og værkstedsgrunde. Hvis det unge, nydannede grundvand ikke umiddelbart er anvendeligt, giver det yderligere begrænsninger i den fremtidige udnyttelige ressource.

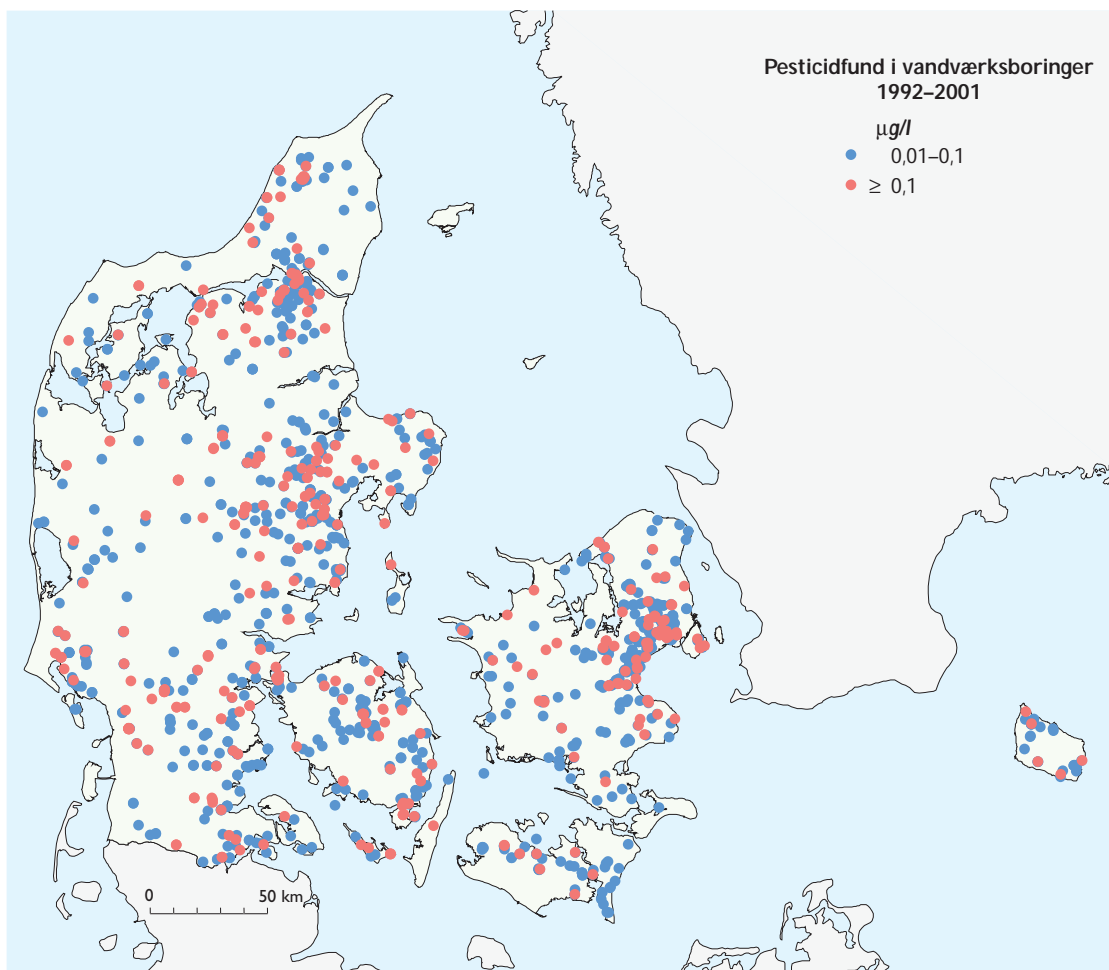
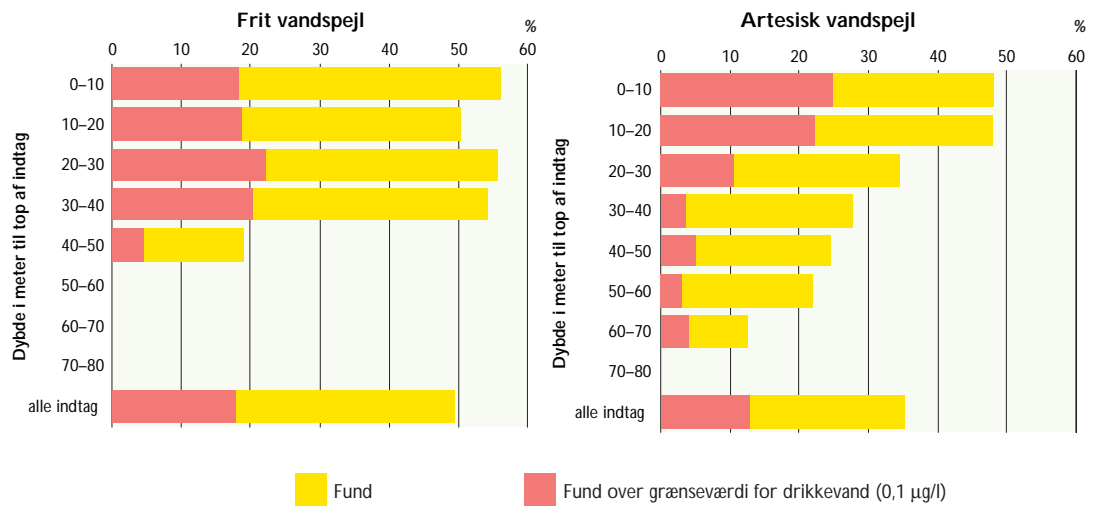
I magasiner med frit vandspejl findes pesticider eller nedbrydningsprodukter i mere end 50 % af de analyserede indtag til en dybde af 40 meter, hvorefter påvirkningsgraden hurtigt klinger ud. I de artesiske magasiner findes pesticider og nedbrydningsprodukter i langt større dybder men med faldende forekomst i dybden, hvilket formodentlig skyldes at tykke lerlag giver en vis beskyttelse, eller forsinkelse, af i forhold til pesticidpåvirkningen.

I Hovedstadsområdet, hvor koncentrationen af pesticidfund over grænseværdien er meget stor, har Københavns Energi vurderet, at en ressource på ca. 10 mio. m<sup>3</sup>/år er gået tabt til forurening alene i Københavns Energi's indvindingsopland.

Ovenstående resultater fra grundvandsovervågningen indikerer, at det øvre grundvand, i dybder mellem 0 – 50 m er stærkt påvirket af forskellige forureningsbelastninger fra terræn, bl.a. nitrat og pesticider. I dybder større end ca. 50 m er kun en ringe del af grundvandet (skønnet til < ca. 5 %) forurenet.



Figur 5.3 Øverst. Nitratindhold i grundvandsovervågning (LOOP, GRUMO og boringskontrol) som funktion af dybden (til top af indtag). Nederst: Nitratkoncentrationen i vandværksboringer 1990-2001 (kun boringer med mere end 25 mg/l er medtaget). Kilde: GEUS (2002)

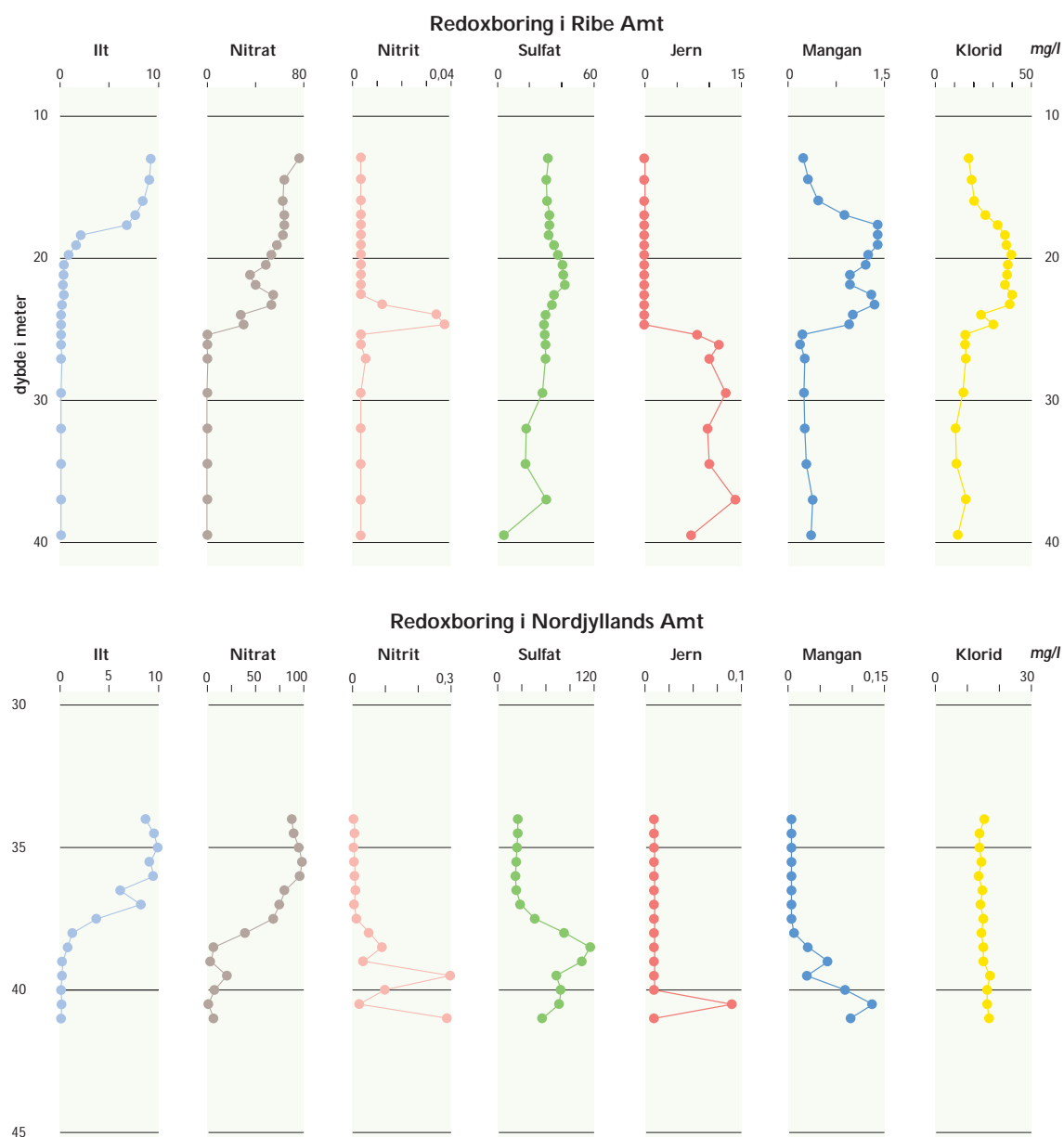


Figur 5.4 Øverst: Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen som funktion af dybden for perioden 1990-2001, henholdsvis i magasiner med frit og artesiske (f.eks. under lerdække) vandspejl. Nederst: Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer i perioden 1992-2001. Kilde: GEUS (2002)



Grundvandsdannelsen i en dybde på ca. 40-50 meter kunne således være en fornuftig indikator for, hvor meget rent grundvand vi har til rådighed, til drikkevandsforsyning, afgrødevanding og som rygrad i dybere grundvandsafstrømning til det akvatiske vandmiljø (bl.a. vandløb, søer, vådområder).

En væsentlig forklaring på, at det forholder sig sådan (f.eks. for nitrat ) finder man redoxforholdenes dybdevariation eksemplificeret i figur. 5.5.



Figur 5.5 Variationer i indtagenes indhold af ilt, nitrat, nitrit, sulfat, jern, mangan og klorid i forhold til dybden. Øverst: Redoxboring i Ribe amt. Nederst: Redoxboring i Nordjyllands amt. Medianværdier for perioden 2000-2001. Kilde: GEUS (2002)

Det fremgår af figur 5.5 at ilt- og nitratzonen er udbredt til en dybde på 25-30 meter under terræn. Resultaterne fra Ribe og Nordjyllands amter understøttes af redoxboringer i Århus Amt og i Storstrøms Amt. Her er påvist lignende udbredelser af redoxzonen til en dybde på ca. 30-35 meter. En mulig måde at tage hensyn til vandkvaliteten i en overordnet ressourcetegning på landsplan for både nitrat og pesticider, er derfor at tage udgangspunkt i grundvandsdannelsen i ovennævnte dybde på ca. 40-50 meter i Vestdanmark, hvor vi har relativt sammenhængende sandlag, og en dybde ned til de regionalt sammenhængende vandførende sandlag under dæklag af moræneler i Østdanmark, typisk i dybder på ca. 30-40 meter.

Udover ovennævnte forureningspåvirkning med nitrat og pesticider, er der i visse områder vandkvalitetsproblemer med andre stoffer, f.eks. uorganiske sporstoffer (arsen, nikkel, zink, aluminium) i en del områder. Generelt kan høje indhold i grundvandet påvirke kilder og vandløb gennem tilstrømning af terrænnært grundvand. Desuden udgør et højt indhold af stofferne et problem, når det anvendes som drikkevand til mennesker, dyr og til levnedsmiddelfremstilling. Spildevand, der udledes direkte eller gennem nedslivningsanlæg efter kortere eller længere opholdstid i grundvandet, kan påvirke vandmiljøet i negativ retning med bl.a. disse stoffer (stofferne er påvist i det allerøverste grundvand i LOOP områder).

### **5.3.2 Begrænsninger i grundvandsressourcen som følge af intensiv vandindvinding / overudnyttelse og afsænkning af grundvandspejlet**

I områder med intensiv vandindvinding og stor grundvands sænkning ses ofte forøgede problemer med de uorganiske sporstoffer, fordi der sker en iltning af jordlag og dermed frigørelse af stoffer som nikkel. I dele af Københavnsområdet er grundvandet eksempelvis afsænket til mere end 10 meter nogen steder og 5 til 10 meter andre steder. En senere retablering af grundvandspejlet kan yderligere øge frigivelsen af nikkel til grundvandet i en periode (GEUS, 2002).

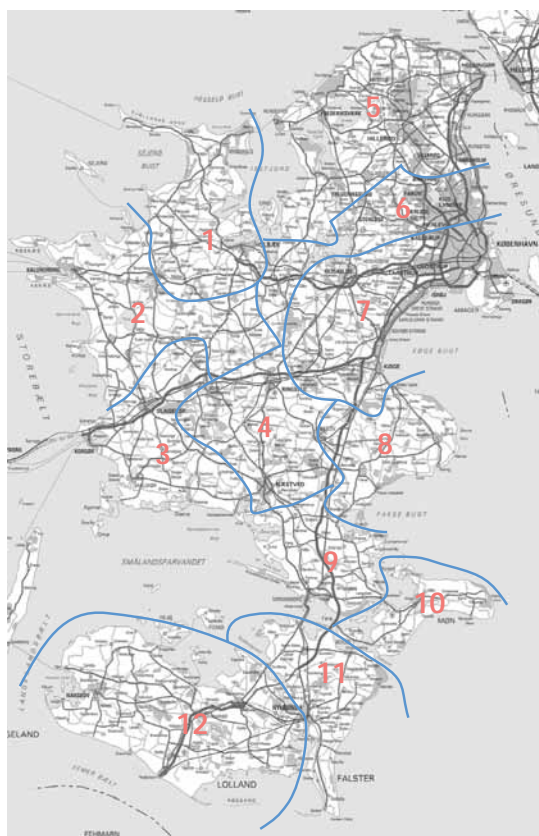
Københavns Amt kan konstatere, at der tilsyneladende er en fortsat stigende tendens til overskridelse af grænseværdien for drikkevand, idet der er fundet overskridelser af uorganiske sporstoffer i 23 % af indvindingsboringerne i 2001, mod 16 til 19 % i de foregående år. Andre steder kan pumpning fra u hensigtsmæssige filtersætninger i bl.a. kalken, give problemer med oprængning af f.eks. residualt saltvand, som findes i større dybde. En nærmere forståelse af kalkens hydrogeologi f.eks. på Sjælland, f.eks. pumpning under lav-permeable mergellag der definerer fersk-/saltgrænsen, er her af betydning.

Der indvindes i dag skønsmæssigt en betragtelig del (50-125 %) af den naturlige grundvandsdannelse til de dybere magasiner i dele af Københavnsområdet (se figur 5.6). Specielt i Køge bugt området er der problemer. Det vurderes, at der her er en udnyttelsesgrad på 125 %. GEUS vurdering er, at udover problemer med nikkel og klorid i området, accelerer den intensive indvinding forureningsudbredelsen fra mere terrænnære lag, og påvirker dermed den naturlige beskyttelsesevne (forøget sårbarhed), se figur 5.6.

Den foreslåede indikator baseret på naturlig grundvandsdannelse i en dybde på 30-50 meter under terræn, er dermed brugbar også i en sådan sammenhæng. Hvis man stiller

krav om, at kun en brøkdel af grundvandsdannelsen, f.eks. 1/3, med sikkerhed vil kunne indvindes, i forhold til en naturlig grundvandsdannelse uden oppumpning, så sætter man samtidig hermed en begrænsning på den maksimale afsenkning af grundvandsspejlet.

I Tude Å, Suså og Søndersø oplandene er udnyttelsesgraden ca. 50 %. I disse oplande er der også visse steder konstateret vandkvalitetsproblemer, som er knyttet til for stor afsenkning af grundvandsspejlet. I f.eks. Tude å konstateres et højt kloridindhold i dybere dele af kvartæret, som skyldes intensiv indvinding omkring Slagelse.



Delområde	Areal km <sup>2</sup>	Udnyttelses- grad %
1 Odsherred	744	13
2 Kalundborg	1.037	16
3 Tude Å/Vårby Å	684	46
4 Suså	834	50
5 Nordsjælland	1.195	22
6 Søndersø	484	53
7 København/Køge	1.112	125
8 Stevns/Fakse	571	18
9 Sydlige Sjælland	554	29
10 Møn	245	8
11 Falster	519	33
12 Lolland	1.253	37

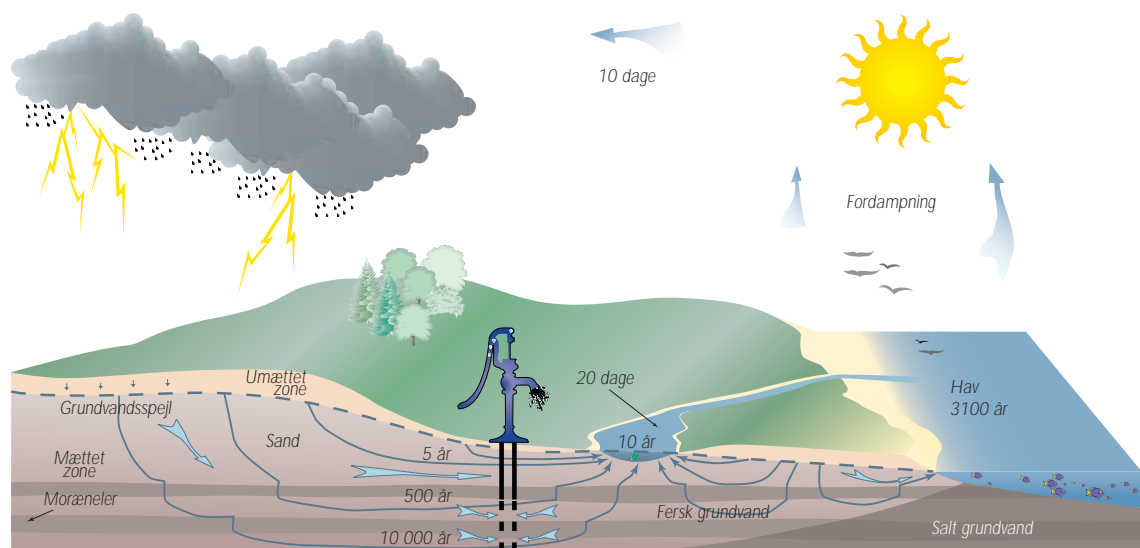
Figur 5.6 Udnyttelsesgrad i forhold til naturlig grundvandsdannelse til dybere grundvandsmagasiner på Sjælland og øerne. Naturlig grundvandsdannelse er vurderet på grundlag af DK-model Sjælland (beregningsslag 3).

En antagelse om at ca. 1/3 af den naturlige grundvandsdannelse til de dybere magasiner maksimalt vil kunne indvindes er muligvis lidt på den sikre side. En nærmere vurdering af disse forhold kan dog ske på den overordnede nationale skala, men vil forudsætte mere detaljerede studier på OSD-skala eller på kildepladsskala.

Der er behov for fremover nærmere at validere denne 1/3 antagelse, hvilket evt. kan ske på baggrund af ressourceopgørelsen for resten af landet, og en overordnet analyse af udnyttelsesgrader for Fyn og Jylland vurderet i forhold til forureningsproblemer relateret til intensiv vandindvinding / afsenkning.

### 5.3.3 Begrænsninger i ressourcen som følge af maksimal påvirkning af vandløb, søer og vådområder

Når vi henter vand op fra jorden, som måske er dannet for årtier eller århundreder siden, introducerer vi to problemer i overfladevandet. For det første tager noget af den grundvandsmængde, der bidrager til en væsentlig del af sommervandføringen i vandløb, ofte med et vigtigt tilskud af meget rent, koldt grundvand, som er vigtigt for det akvatiske miljø i vandløb, søer og vådområder. For det andet udleder vi efterfølgende den samme vandmængde som spildevand til overfladevandet, en del direkte til havet og resten til vandløb, men med en vandkvalitet som uanset spildevandsrensning ikke er den samme som før.



Figur 5.7 Påvirkning af akvatiske miljø som følge af vandindvinding udgør en væsentlig begrænsning for størrelsen af den udnyttelig grundvandsressource. Når forholdsvist gammelt pumpes grundvand op, tages der noget af det fortsat "rene" vand, som ellers ville bidrage positivt til vandføring og vandkvalitet i vandløb, søer og vådområder.

Hvorvidt en given påvirkning er acceptabel eller ej for en given målsætning for det akvatiske miljø, afhænger naturligvis af mange forskellige ting, udover lige ændringen i vandføring. I første omgang er den samlede f.eks. vandløbskvalitet afhængig af et kompliceret samspil mellem tre faktorer:

- Fysiske forhold
- Vandkvalitet
- Vandføring

Den bedste måde at klarlægge de helt præcise forholds indbyrdes betydning, er at opstille en habitatmodel, hvilket der imidlertid ikke er tilstrækkelige erfaringer med, til at der kan fastsættes en metodik, som er anvendelig på landsplan. En simplere og samtidig ensartet

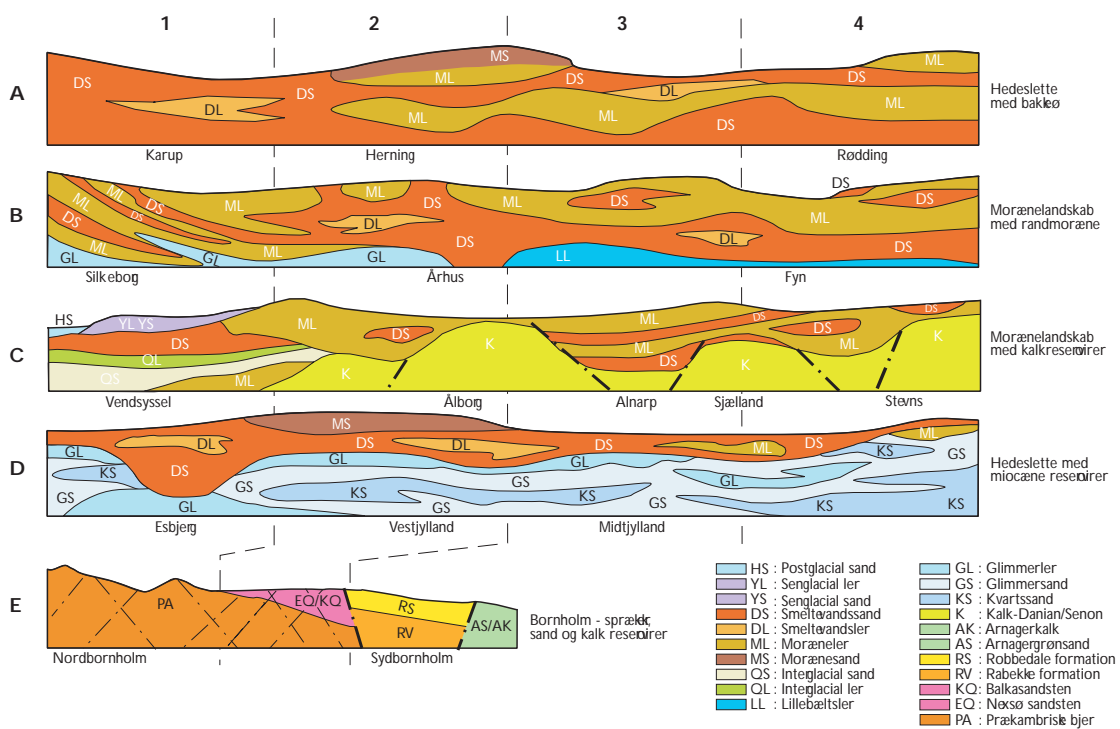
måde at forholde sig til påvirkningen på er at arbejde med et par indikatorer der beskriver %-vis påvirkning af vandføringen ved en given indvinding, vurderet i forhold til den upåvirkede vandføring. Det er i første omgang relevant at analysere %-vis påvirkning for:

- Minimumsvandføring (5, 10, 15, 25 og 50 %'s max. påvirkning afhængigt af recipient målsætning: A: særligt naturvidenskabeligt interesseområde, B1: Gyde- og opvækstområde for laksefiske, B2: Laksefiskevand, B3: Fiskevand og D: Lempet målsætning)
- Middelvandføring (f.eks. max 10 %'s påvirkning i "tørre år")

Middelvandføringen er her meget afhængig af de aktuelle klimaforhold, hvorimod minimumsvandføringen (f.eks. medianminimum) er væsentligt mere konstant.

### 5.3.4 Vandrådets opgørelse af udnyttelig grundvandsressource

Vandrådet tog i sin opgørelse udgangspunkt i fastsatte indvindingsprocenter af nettonedbøren fastsat på baggrund af reservoirforhold (Prækvartære og Kvartære reservoirer), dvs. i det væsentlige en geologisk betinget metodik. I figur 5.8 er derfor vist en oversigt over geologiske forhold i Danmark, hvor der jo er store variationer på landsplan.

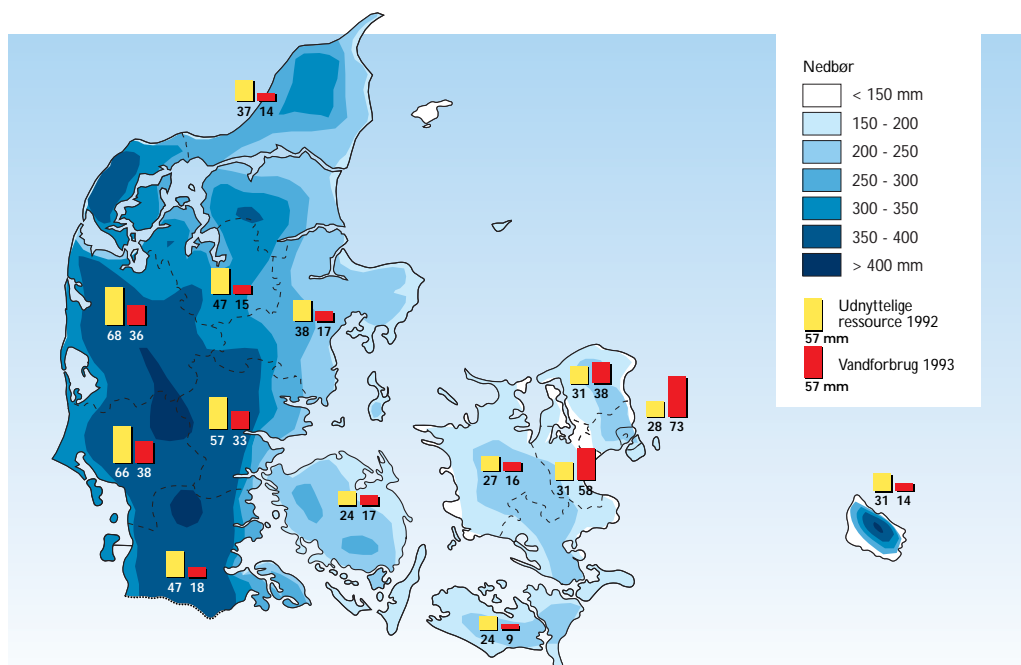


Figur 5.8 Overordnede geologiske forhold i Danmark

Der blev benyttet forskellige tal for forskellige kombinationer af Prækvartære og Kvartære reservoirer, f.eks. 20 % for sammenhængende kvartære sandmagasiner over miocæne magasiner, 10 % for lokale sandmagasiner over grundfjeld osv.

Den bæredygtigt udnyttelige vandressource i Danmark opgjort på baggrund af indvindingsprocenter af nettonedbøren, og med udgangspunkt i en overordnet fortolkning af geologi og magasinforhold, var ved den seneste landsdækkende opgørelse (Miljøstyrelsen, 1992; Vandrådet, 1992) på landsplan større end den samlede indvundne vandmængde. Den udnyttelige grundvandsressource blev her af Vandrådet vurderet til i alt 1.8 milliarder m<sup>3</sup>/år, hvilket var større end det daværende vandforbrug på omkring 1 milliard m<sup>3</sup>/år. Det meste af drikkevandsforsyningen, var dengang som nu, baseret på oppumpning af grundvand (ca. 99 %). Overfladevand anvendes kun i meget begrænset omfang i Danmark.

Der var væsentlige usikkerheder på Vandrådets vurdering af den udnyttelige grundvandsressources størrelse. Der var i skønnet taget hensyn til, at visse områder generelt havde vanskelige indvindingsforhold, og at den naturlige vandkvalitet andre steder er så dårlig at vandet ikke kan udnyttes umiddelbart. Desuden sætter miljøtilstanden i vandløb og vådområder grænser for, i hvilket omfang ferskvandsressourcen kan udnyttes. Inddragelsen af dette aspekt var dog ikke gennemskueligt og reproducérbart i Vandrådets opgørelse.



Figur 5.9 Vandressourcens regionale fordeling. Blåskravering: Nettonedbør (mm/år), Rød søjle: Vandindvinding i 1993. Gul søjle: Udnyttelig grundvandsressource (Vandrådet, 1992).

Der blev i Vandrådets opgørelse ikke taget hensyn til to væsentlige forhold:

- forurening som følge af miljøfremmede stoffer f.eks. pesticider, MTBE, klorerede opløsningsmidler, bakterier, virus, medicin, detergenter mm., mest udbredt i terrænnært grundvand
- betydningen af længerevarende klimavariation (behandles i kapitel 6 og 7)

Et andet problem ved Vandrådets skøn, er at usikkerheden ikke er nærmere kvantificeret. Vandrådets skøn bygger blot på en simpel antagelse omkring hvilken %-del af nettonedbøren der er udnyttelig, men inddrager ikke eksplicit de mange hydrologiske og geologiske

data der f.eks. foreligger i forskellige institutioners databaser (f.eks. 225.000 borer i GEUS's Jupiter, samt data fra nationalt og regionale pejlestationsnet, oppumpningsdata fra ca. 3000 vandværker, afstrømningsdata fra et stort antal vandføringsstationer og forskellige GIS data).

Vandrådet pegede selv på (Vandrådet, 1992) en række områder, hvor vidensgrundlaget blev vurderet utilstrækkeligt:

- Opgørelser af nettonedbøren forelå kun på grundlag af ældre data. Behov for en fornyet opgørelse af nettonedbøren med anvendelse af nye beregningsmetoder og baseret på et nyt datagrundlag,
- Konsekvenserne af klimaændringer som f.eks. den menneskeskabte øgning af drivhuseffekten var meget dårligt belyst for grundvandsressourcen i Danmark. Behov for en vurdering af de hydrologiske og miljømæssige konsekvenser af klimaændringer,
- Infiltrationskapaciteten har stor betydning for transportprocesserne i de øvre jordlag og for tilgangen til grundvandsressourcen. Behov for studier af infiltrationens variation med frost/tø og med dyrkningsmetoderne, og
- Behov for en ensartet og forbedret metode til opgørelse af vandressourcen. De enkelte amter anvender metoder, der ikke umiddelbart kan sammenlignes, hvilket gjorde en samlet vurdering af vandressourcen vanskelig.

### 5.3.5 Skalaeffekter

Der er i opgørelsen af vandressourcen en skalaproblematik, som det er vigtigt at fremhæve. Der er skala i alle forhold – punktnedbør til arealnedbør, punktfordampning til arealfordampning, pejleobservationer til potentialekort, målt afstrømning ved vandføringsstationer i forhold til simuleret afstrømning for et vandløbsopland for osv.

Valideringen af DK-modellen (se kapitel 8) har vist, at det har været muligt at konstruere en kombineret grundvands-/overfladevandsmodel med en horisontal maskevidde på 1 x 1 km, med en acceptabel nøjagtighed i forhold til usikkerheder og skalaforhold vedr. observationsdata (trykniveau og afstrømning), som kan beskrive vandbalanceforhold, grundvandsdannelse og afstrømning for oplande med en størrelse på ca. 50 km<sup>2</sup> og opefter.

Med et areal for hele landet på ca. 43.000 km<sup>2</sup>, består DK-modellen af 11 deloplande, der arbejdes altså med delmodeller typisk i størrelsesordenen 4.000 km<sup>2</sup>. Disse er ved opgørelsen af vandbalancer, grundvandsdannelse og afstrømninger (jf. kapitel 3) yderligere opdelt på typisk 4 underområder, dvs. en typisk oplandsstørrelse for underområder på i størrelsesordenen ca. 1.000 km<sup>2</sup>. Problemet er ikke at bruge modellen på denne skala, men ved brug på endnu mindre skala, et spørgsmål om at vurdere hvornår modellen ikke længere giver tilstrækkeligt nøjagtige resultater.

Der har generelt været et godt grundlag for at kalibrere og validere modellen både med hensyn til trykniveau og afstrømningsdata. Generelt har vandføringsstationer med oplande for Øerne > 50 km<sup>2</sup>, og for Jylland > 100 km<sup>2</sup> været brugbare til kalibrering og validering,

og der foreligger på landsplan et stationsnet, som er tilstrækkeligt til denne øvelse, men som når man går ned i skala, mange steder kan udgøre begrænsninger for validering af de mere detaljerede modeller der opstilles på OSD niveau, eller finere skala (f.eks. for en kildeplads, for punktkildeforurening osv.).

OSD områder udgør på landsplan 35 % af landets areal, største procentdele finder vi på Øerne og mindre for Jylland. DK-modellen kan generelt ikke sige noget detaljeret om forholdene indenfor et OSD område, men derimod give en overordnet beskrivelse af hvordan situationen ser ud for samtlige OSD områder indenfor hvert af de 11 deloplande. Modellen er for grov til at sige noget om indvindingsoplande og grundvandsdannende oplande tilhørende enkelte vandværker / kildepladser, herunder usikkerheder på geologisk model og parameterverdier.

DK-modellen er velegnet til at belyse om udnyttelsen af vandressourcen er "bæredygtig", og gøre dette på ensartet måde på tværs af amtsgrænser og andre administrative enheder. Modellen udgør derfor et godt grundlag som referenceramme for mere detaljerede modeller, der opstilles i forbindelse med detailkortlægningen af OSD områder, eller indsatsplanlægning for oplande til f.eks. vandværker, og kan eksempelvis levere randbetingelser, grundvandsdannelse, parameterverdier mv. til sådanne modeller. Men det er vigtigt at understrege, at DK-modellen ikke kan erstatte de mere detaljerede modeller på OSD niveau, men altså i kraft af en position som referenceramme, bidrage til kvalitetsikring af mere detaljerede modeller (randbetingelser, parameterverdier osv.).

Resultaterne på 1x1 km gridniveau skal derfor ikke anvendes ukritisk, men snarere anvendes som et første bud på f.eks. grundvandsdannelsen til et givent magasin, som en indikator for situationen i et givent område, i de tilfælde hvor der ikke foreligger resultater fra mere detaljerede modeller. Når der kigges på gridverdier for større områder (> 50-100 km<sup>2</sup>) er resultaterne dog væsentligt mindre usikre, og kan indgå til f.eks. kvalitetssikring af mere detaljerede modeller, til identifikation af områder, hvor modellerne giver meget forskellige eller ens resultater.

DK-modellen er primært egnet til at sige noget om massebalancer (f.eks. grundvandsdannelse eller afstrømning). Modellens simulering af trykniveauforhold er relativt grove, og har begrænset anvendelighed til at sige noget i områder med f.eks. intensiv vandindvinding. Således er det vanskeligt at benytte DK-modellen til at sige noget om afsænkning af trykniveau og tilhørende vandkvalitetsproblemer f.eks. ved kildepladser med saltvandsoptrængning eller andre kvalitetsproblemer som skyldes for intensiv vandindvinding.

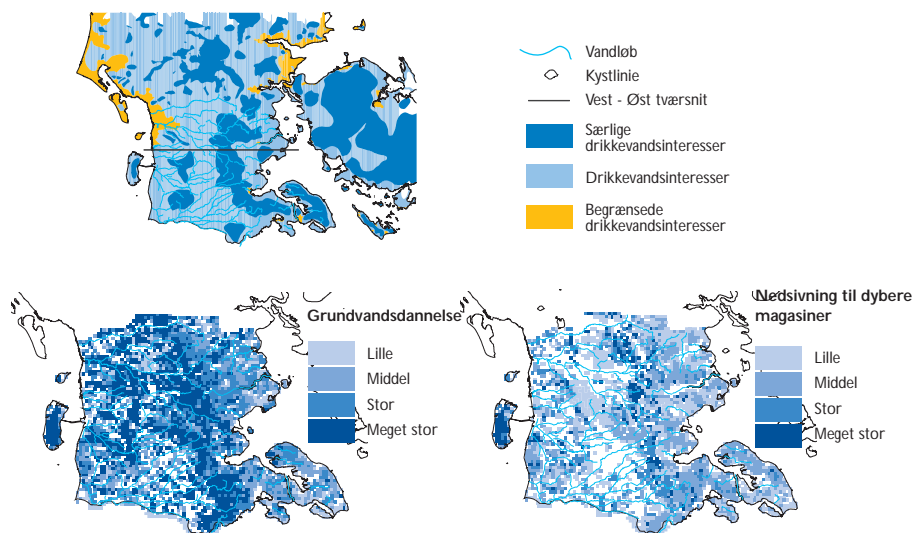
DK-modellen er velegnet til at sige noget om vandbalanceforhold, påvirkning af afstrømning mv. på Vandområde distriktsniveau (VOD), samt for større vandløbsoplande. Modellen er ikke nok detaljeret til at beskrive stoftransport generelt på oplandsbasis, eller i grundvandet, men kan udgøre fundamentet for modellering af kvælstof på oplandsniveau / større skala. Det forudsætter dog først en videreudvikling af konceptet med indbygning af Daisy, detaljering af de øvre lag i modellen samt konceptualisering af kvælstofomsætning i grundvand og vådområder. Håndtering af såvel grundvand som vandløb (MIKE SHE / MIKE 11) er baseret på et avanceret modelsystem, som er særligt egnet til at beskrive integrerede grund-



vands- og overfladevandssystemer. Men der er med henblik på etablere et effektivt, landsdækkende modelsystem, valgt en række forenklinger af dele af vandkredsløbet, bl.a.:

- Fordampning fra rodzonen er beskrevet ved et simpelt rodzonemodul, hvor forsinkelse i umættet zone ignoreres; input fra 40x40 km grid, som er nedskaleret til 6-10 overordnede vegetationstyper (skov, vådområde, landbrug: over/under 50 m og sand/ler)
- Vandløb er beskrevet ved forsimplet MIKE 11 rutine dvs. vandspejl og magasinering i vandløb, eller udveksling med ånære enge er ikke detaljeret beskrevet
- Vandindvinding er repræsenteret på kildepladsniveau, generelt ikke fordelt ud på enkeltboringer, idet disse oplysninger ikke foreligger på elektronisk form
- Drænsystemer implementeret stærkt forenklet i modellen
- Markvandinger er baseret på simulerede tal ved hjælp af rodzonemodulet

I figur 5.10 er vist et eksempel på at OSD områderne f.eks. i Jylland udgør ofte usammenhængende områder. Det vil ikke give mening at foretage opgørelser for OSD, på en mindre skala end den opdeling på 11 deloplande modellen berettiger, fordi det samlede opland af disse OSD områder mange steder i Jylland kun udgør 10-15 % af det samlede delopland på typisk 4.000 km<sup>2</sup>, dvs. 400-600 km<sup>2</sup>. Når der så yderligere skal analyseres på f.eks. vandløbsafstrømning for delstrækninger (måske 20 % af oplandet) kommer man ned omkring den nedre grænse for brugen af DK-modellen, som ligger omkring 50-100 km<sup>2</sup>.



Figur 5.10 Der er et voksende behov for kendskab til grundvandsdannelse og udnyttelig ressource for specifikke reservoirer (f.eks. indenfor OSD og/eller til dybe magasiner f.eks. Ribe formationen i Sønderjylland). OSD områder betegner her områder med særlige drikkevandsinteresser udpeget af amterne i forbindelse med regionplaner.

## 5.4 Vandrammedirektivet

Vandrammedirektivet betyder på mange måder nye principper for forvaltningen af det danske vandmiljø. Et hovedprincip i direktivet er, at vandressourceforvaltningen skal ske ud fra helhedsbetragtninger (holistisk), hvor vandkvantitet, vandkvalitet, fysiske forhold, økologiske forhold og socioøkonomiske forhold vurderes samlet, og hvor de forskellige forekomster af vand skal ses i sammenhæng. Der skal eksempelvis etableres kriterier for vurdering af tilstanden i grundvand og overfladevand, således at grundvandets påvirkninger af overfladevandets kvantitative og kvalitative tilstand samt vandområdernes økologiske forhold inddrages (Miljøstyrelsen, 2003). Dette medfører behov for ændringer i forvaltningen, både med hensyn til monitoringsprogrammer og særlige krav til vurdering af hvorledes grundvandsforhold (f.eks. oppumpning) påvirker tilstanden i overfladevand (Refsgaard et al., 2002).

I forbindelse med implementering af direktivet, hvor alle dele af kredsløbet behandles netop som dele af et kredsløb, har vi derfor et klart behov for at kunne opstille konceptuelle modeller og oversigter over vandets kredsløb.

Der er ved fastlæggelse af miljømålene for grundvand efter Vandrammedirektivetets definitioner behov for at klarlægge grundvandets betydning for den økologiske tilstand i bl.a. vandløb. Ved kortlægningen og klassificeringen af grundvandsforekomsterne efter hvorvidt de er i risiko for ikke at kunne overholde direktivets krav om "god tilstand" er der åbnet op for at man kan gruppere forekomsterne og anvende typologier.

I Miljøstyrelsens projekt "Grundvand – Overfladevand Interaktion" (Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 10, 2003), gennemført i 2002, er der således opstillet en typologi for de danske ådale. I forbindelse med afslutning af typologiarbejdet for danske ådale gennemføres et udredningsprojekt med titlen "Videreudvikling af ådalstypologier", der skal afsluttes i 2003. I dette projekt afsluttes typologiarbejdet efterfulgt af en testning og validering af den udviklede typologi, hvor værdier estimeres for de parametre, der har betydning i forbindelse med en vurdering af grundvandsforekomsternes påvirkning af vandløbene. De to ådalstypologiprojekter er en direkte videreførelse af et Miljøstyrelsen udredningsprojekt gennemført i 2001 med titlen "Vidensstatus for sammenhængen mellem grundvand og overfladevand" (Arbejdsrapport for Miljøstyrelsen nr. 21, 2002).

Vandrammedirektivet vil indebære et helt nyt paradigme for vurdering af udnyttelig grundvandsressource. DK-modellen udgør et muligt modelværktøj til på stor skala at kunne foretage vurderinger af disse forhold. I nærværende ressourceopgørelse er det tilstræbt at opgøre ressourcen dels for de 11 DK-model delområder, men også får 3-6 underområder, som er afgrænset efter større vandløbsoplande f.eks. Suså, Tude å, Odense å, Skjern å, Gudenå osv.

I Vandrammedirektivet er det grundvandsforekomsten, der er i fokus. Det gælder både mht. opnåelse af miljømål og dokumentationen heraf. Det er derfor afgørende, at man i forbin-

delse med overvågningen – også – er i stand til at zoome ind til dette niveau, som i sidste ende er det, vi vil blive vejet og målt på.

## 5.5 Forudsætninger for nye opgørelse af vandressourcen

For kort at samle op på de forudsætninger, der i dette kapitel er blevet nærmere introduceret omkring den nye ressourceopgørelse, kan det konkluderes, at:

- DK-modellen er opstillet for 11 delområder, som hver er opdelt på 3-6 geografiske underområder, samt samlede OSD område, indenfor deloplandet (eksempel: Delopland: Sydvestjylland har 4 underområder: Skjern å, Varde å, Sneum å og kystnært restopland med bl.a. Esbjerg, plus et underopland bestående af samtlige OSD oplande)
- Dyb grundvandsdannelse til magasiner 30-50 meter under terræn er udgangspunkt for beregning af to indikatorer. I denne dybde er der overvejende "rent grundvand" (endnu). Den valgte dybde svarer godt og vel til udbredelsen af "ilt- og nitratzonen" (intet nitratproblem i overskuelig fremtid). Konceptet for DK-model Øerne og Jylland er forskelligt, men svarer for Fyn og Sjælland til top af beregningslag 3 (top af øvre regionale sandlag), og for Jylland til top af beregningslag 5.
- Udnyttelsesgraden (oppumpning divideret med dyb grundvandsdannelse for scenarie uden vandindvinding) er for København-Køge-Roskilde underområdet ca. 125 % og for Søndersødal, Tude å og Suså underområderne ca. 50 %. I øvrige områder på Sjælland er udnyttelsesgraden mindre end 35 %. Der er konstateret meget udbredte vandkvalitetsproblemer i København-Køge-Roskilde området, der indikerer tydelig overudnyttelse. Mere begrænsede problemer i Søndersødal, Tude å og Suså oplandene, som vurderes til moderat overudnyttelse => Indikator 1 for bæredygtighed antages svarende til udnyttelsesgrad på 35 %. Indikator 2 antages svarende til max. 30 % forøgelse i dyb grundvandsdannelse som følge af pumpning, i forhold til scenarie uden indvinding.
- Udnyttelig vandressource begrænset af max. vandløbspåvirkning vurderes med udgangspunkt i %-vis påvirkning af hhv. minimums- og middelvandføring i forhold til vandføring for et scenarie uden vandindvinding. Påvirkningen af minimumsvandføring relateres til recipientmålsætninger for overfladevand (dvs. fiskevandsmålsætninger hhv. 5, 10, 15, 25 og 50 % for A, B1, B2, B3 og D vandløb), og beregnes for de enkelte strækningstyper i DK-model-underområder.
- Klimaforholdenes betydning for grundvandsdannelse og vandløbspåvirkning simuleres på baggrund af vurderinger af tidsserier for 1991-2000 i forhold til en længere årrække (1961-1990) som foretages i kapitel 5.
- DK-modellen kan ikke med den nuværende skala (1x1 km) og setup anvendes til vurdering af stoftransport fra f.eks. punktkilder eller for miljøfremmede stoffer (f.eks. pesticider), detaljeret vurdering af indvindingsopland / afgrænsning af grundvandsdannende oplande til kildepladser, vurdering af afsækning af trykniveau omkring kildepladser. Modellen er imidlertid brugbar som udgangspunkt eller referenceramme for mere de-

taljerede modeller der opstilles i forbindelse med OSD eller Vandrammedirektivet, og kan levere randbetingelser (grundvandsdannelser, ydre randbetingelser mv.), parameterværdier (hydraulisk ledningsevne osv.), og vandbalancer. DK-modellen kan sige noget kvalificeret om vandbalanceforhold og grundvandsdannelse på en skala på 50-100 km<sup>2</sup> og opefter. DK-modellen vil kunne videreudvikles, ved indbygning af Daisy og nitratomdannende processer i bl.a. grundvand, til et konsekvensberegningstværværktøj til vurdering af nitrattransport på oplandsskala (PhD studium igangsat hos GEUS februar 2003).

## 5.6 Referencer

- DHI (2002): Slutrapport. Videreudvikling af matematisk vandressourcemodelsystem. DHI, <http://www.vandmodel.dk/mike-she.htm>
- GEUS (2002): Grundvandsovervågning 2002. Redaktør Lisbeth Flindt Jørgensen.
- Henriksen, Hans Jørgen (2001): National vandressourcemodel. Slutrapport. GEUS rapport 2001/29. [http://vandmodel.dk/slutrapport\\_2001-29.pdf](http://vandmodel.dk/slutrapport_2001-29.pdf)
- Henriksen, H.J. Nyegaard, P., Ernsten, V., Rasmussen, P., Troldborg, L. og Refsgaard, J.C. (2001): Betydningen af grundvandets strømningsveje, opholdstider og nitratreduktionskapacitet for kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Udarbejdet af GEUS som et input til DMU/DJF midtvejsevaluering af Vandmiljøplan II. <http://vandmodel.dk/nitrat-geus-dmu-fin.pdf>
- Miljøstyrelsen (1992): Danmarks fremtidige vandforsyning. Betænkning fra Miljøstyrelsen. Nr. 1. 1992.
- Miljøstyrelsen (2001): NOVA 2003 (beskrivelse af NOVA 1998-2003).
- Miljøstyrelsen (2003): Vandrammedirektivet (søg og læs mere på [www.mts.dk](http://www.mts.dk))
- Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Blicher-Mathiasen, G., og Kern-Hansen, K. (2002) Vandbalancen på mark- og oplandsskala. [http://www.vandressource.dk/vandbalance\\_paa\\_mark\\_og\\_oplandsskala\\_DJF8.pdf](http://www.vandressource.dk/vandbalance_paa_mark_og_oplandsskala_DJF8.pdf)
- Refsgaard, J.C., Hansen, S. og Henriksen, H.J. (2001) Problemer med vandbalancen og mulige konsekvenser for beregning af nitratudvaskning. <http://www.vandressource.dk/Vandbal-nitrat-GEUS-KVL.PDF>
- Refsgaard, J.C., Skriver, J., Kronvang, B., Jensen, J.P., Rasmussen, P. (2002) Vandrammedirektiv – grundvand/overfladevand. Vand&Jord, nr. 2, 9. årgang, maj 2002.
- Vandrådet (1992): Ferskvandsressourcens naturlige kvantitet og kvalitet. Vandrådets projekt Danmarks fremtidige vandforsyning. Rapport fra Arbejdsgruppe 1. December 1992.