

# Kapitel 3 – Opgørelse af den udnyttelige ferskvandsressource

Hans Jørgen Henriksen og Lars Trolborg

<b>Kapitel 3 – Opgørelse af den udnyttelige ferskvandsressource</b>	<b>1</b>
3.1 Kapitel sammenfatning.....	2
3.2 Metodik til vurdering af udnyttelig vandressource.....	3
3.2.1 Teknisk indgangsvinkel.....	3
3.2.2 Valg af reference scenarie for simuleringskørsler.....	5
3.2.3 Definition af udnyttelig grundvandsressource.....	6
3.2.4 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til grundvandsdannelse (Indikator 1 og 2).....	7
3.2.5 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til vandløbspåvirkning (Indikator 3 og 4).....	10
3.3 Resultater af ressourceopgørelsen.....	13
3.3.1 Simuleret nettonedbør og grundvandsdannelse.....	13
3.3.2 Ressourceopgørelse for hele landet.....	18
3.3.3 Ressourcesituation i OSD områder.....	21
3.3.4 Ressourcesituation i 50 underområder.....	22
3.3.5 Bemærkninger til opgjort ressource.....	24
3.4 Usikkerheder på opgørelsen af udnyttelig ressource og yderligere vidensbehov.....	26
3.5 Vandrådets metodik og resultater.....	27
3.6 Referencer.....	29

Opgørelsen af den udnyttelige vandressource er kompliceret på grund af mange forskellige faktorer der spiller ind fx klima, grundvandsforurening, krav til recipienter og reservoirforhold. Vi kan kun allokere en bestemt mængde rent vand til dækning af de konkurrerende behov. Disse behov er først og fremmest vand til drikkevand og husholdninger, vand til vandløb og det akvatiske miljø samt vand til erhverv fx afgrødevanding. Hvis vi bruger for meget vand til et af ovenstående behov, vil det gå ud over et af de andre og vi skal derfor kunne sikre en tilstrækkelig vandmængde også i år med et tørt klima.

Det er nødvendigt først at definere hvilken referencesituation der tages udgangspunkt i samt hvilke forhold der tages hensyn til når den udnyttelige vandressource beregnes. Her er valgt en metodik baseret på 4 forskellige indikatorer, to der tager udgangspunkt i grundvandsdannelsen til dybe magasiner og to der tager udgangspunkt i påvirkning af vandføring i recipienter, henholdsvis ved middel- og minimumsvandføring, som er særligt kritisk.

Den landsdækkende opgørelse af udnyttelig ressource er baseret på den nationale vandressourcemodel (DK-model). Vandbalancer for DK-modellens deloplande og simuleret nettonedbør og grundvandsdannelse beskrives. Baggrundsdata for hvert delopland foreligger i bilag. Tal for 11 deloplande, områder med særlige drikkevandsinteresser samt 50

underområder præsenteres. Usikkerheden angives. Resultater relateres til Vandrådets opgørelse.

### 3.1 Kapitel sammenfatning

Opgørelse af den udnyttelige drikkevandsressource i Danmark med udgangspunkt i modelsimulering af det hydrologiske kredsløb baseret på den nationale vandressourcemodel (DK-model) viser, at ressourcen næsten er halveret i forhold til den seneste landsdækkende opgørelse for 11 år siden, fra 1,8 mia. m<sup>3</sup>/år til 1,0 mia. m<sup>3</sup>/år. Den primære forklaring på denne nedskrivning er, at den nye opgørelse regner detaljeret på hele ferskvandskredsløbet, og at påvirkninger af vandløb og natur begrænser de mængder, vi kan indvinde fra grundvandet. Hertil kommer at problemer med vandkvaliteten i det øvre grundvand betyder at dele af denne ressource i en årrække må afskrives.

I takt med den stigende påvirkning over de sidste årtier af det øvre grundvand er vandforsyningen omlagt til i meget stort omfang at udnytte det dybereliggende grundvand. Først nu har vi pålidelige tal for hvor meget ressourcen udgør, når der tages udgangspunkt i de fastlagte målsætninger for vandløbenes kvalitet.

Vandkredsløbet viser under disse forudsætninger for stor oppumpning omkring København, Odense og Århus, samt på de lette jorde i Midt- og Vestjylland, hvor behovet for markvanding er stort. Inden for større områder overudnyttes grundvandsressourcen: I Nordsjælland og omkring København med knap 80 mio. m<sup>3</sup>/år, på Fyn med knap 10 mio. m<sup>3</sup>/år og i Østjylland med ca. 30 mio. m<sup>3</sup>/år.

Også i områder med særlige drikkevandsinteresser er der for stor udnyttelse (røde tal). I dele af Syd- og Nordjylland er der rigeligt vand.

I de fleste af disse områder er problemet, at der pumpes så meget vand op, at påvirkningen af vandløb er for kraftig. I andre områder er det risikoen for at trække nitrat og pesticider ned fra de øvre forurenede magasiner og for frigivelse af stoffer fra undergrunden (fx nikkel), der begrænser de mængder vi kan pumpe op. Grundvandsdannelsen til de dybere magasiner er her for lille i forhold til den nuværende oppumpning.

En meget væsentlig grund til at situationen er alvorlig, er at det øvre grundvand i dag er påvirket af forurening med sprøjtemidler og kvælstof. I halvdelen af overvågningsfiltrene finder vi rester af disse stoffer. I hver femte boring er grænseværdien for både nitrat og pesticider overskredet. Når der samtidig pumpes for kraftigt fra dybere magasiner, forøges risikoen for forurening af vores reserver af rent drikkevand. Udover at væsentlige dele af det øvre grundvand er forurenet og derved truer det fremtidige drikkevand i de dybere reservoirer, kan forureningen påvirke tidspunktet for opfyldelsen af Vandmiljøplanerne, fordi disse forurenede vandmængder mange år frem vil påvirke overfladevandet.

Den nye opgørelse er langt mere omfattende end Vandrådetets opgørelse fra 1992 og har været syv år undervejs. Projektet har vist, at der er et stort behov for mere viden om vandbalancens enkelte elementer samt deres sammenhæng.

Usikkerheden på den nye opgørelse vurderes til  $\pm 10$  % på landsplan. For de 11 DK-model deloplande (svarende til Vandområdedistrikter, VOD niveau) vurderes usikkerheden til  $\pm 20$  %. For de 50 underområder (svarende til områder med særlige drikkevandsinteresser, OSD niveau) vurderes usikkerheden til  $\pm 40$  %.

DK-modellen arbejder ud fra daglig nedbør, temperatur og fordampning. Modellen er kalibreret og valideret i forhold til afstrømning og pejlinger. Der er tale om en detaljeret beskrivelse af ferskvandets kredsløb, og strømmingen i undergrunden på baggrund af data fra flere hundrede tusinde borer. Geologien er tolket med 10-30 geologiske lag. Vandstrømningen i de øvre jordlag, i dræn og til vandløb beskrives ret detaljeret.

I de nye beregninger tages der højde for en række forhold, som ikke tidligere har været indregnet i en landsdækkende opgørelse. Den nye model arbejder ud fra daglig nedbør, temperatur og fordampning. Modellen er kalibreret og valideret i forhold til afstrømning og pejlinger. Der er tale om en detaljeret beskrivelse af ferskvandets kredsløb, og strømmingen i undergrunden på baggrund af data fra flere hundrede tusinde borer. Geologien er tolket med 10-30 geologiske lag. Vandstrømningen i de øvre jordlag, i dræn og til vandløb beskrives relativt detaljeret.

Vandkredsløbet beskrives med vandbalancer, med grundvandsdannelse til øvre og dybere magasiner, afstrømning fra overfladenære og dybere magasiner, afstrømning til hav og oppumpning. Grundvandsdannelsen til de dybere magasiner giver input til to indikatorer for udnyttelig ressource, som angiver grænserne for hvor meget vand, der kan indvindes, uden risikoen for at trække forurening ned fra de øvre lag (fx nitrat og pesticider) eller risikoen for frigivelse af stoffer fra undergrunden (fx nikkel og arsen) forøges.

## **3.2 Metodik til vurdering af udnyttelig vandressource**

### **3.2.1 Teknisk indgangsvinkel**

I de nye beregninger af ferskvandskredsløbet med DK-modellen, som har været det tilgrundliggende modelværktøj i nærværende NOVA temarapport, sammenholder vi modellen med observationer fra vandløb og pejlestationer for overvågningsprogrammets registreringsperioden 1991-2000, med et input af klimadata fra hele landet i samme periode. Det giver os et modelbaseret grundlag for at opgøre den udnyttelige ressource, med fokus på netop ferskvandskredsløbet, og de komponenter i dette kredsløb, som ændres når vi fx pumper vand op fra undergrunden til vandindvinding eller ændrer på arealanvendelsen.

I de nye beregninger tages der højde for en række forhold, som ikke tidligere har været indregnet i en landsdækkende opgørelse. Den nye model arbejder ud fra daglig nedbør, temperatur og fordampning. Forholdene kan derfor belyses for realistiske klimavariationer. Der er tale om en detaljeret beskrivelse af strømmingen i undergrunden på baggrund af data fra flere hundrede tusinde borer. Geologien er tolket med 10-30 geologiske lag. Vandstrømningen i de øvre jordlag, i dræn og til vandløb beskrives relativt detaljeret.

Der foreligger 11 DK-delmodeller (afgrænsning er vist i figur 3.2). Disse kan benyttes til stationære eller dynamiske simuleringer af trykniveau / afsækning, grundvandsdannelse til magasiner i forskellige dybde og vandløbsafstrømning. Scenarier for klima / nettonedbør og vandindvinding foreligger for perioden 1991-2000 og kan benyttes som drivvariable.

Ud fra de daglige data for nettonedbør er der tilvejebragt følgende datasæt:

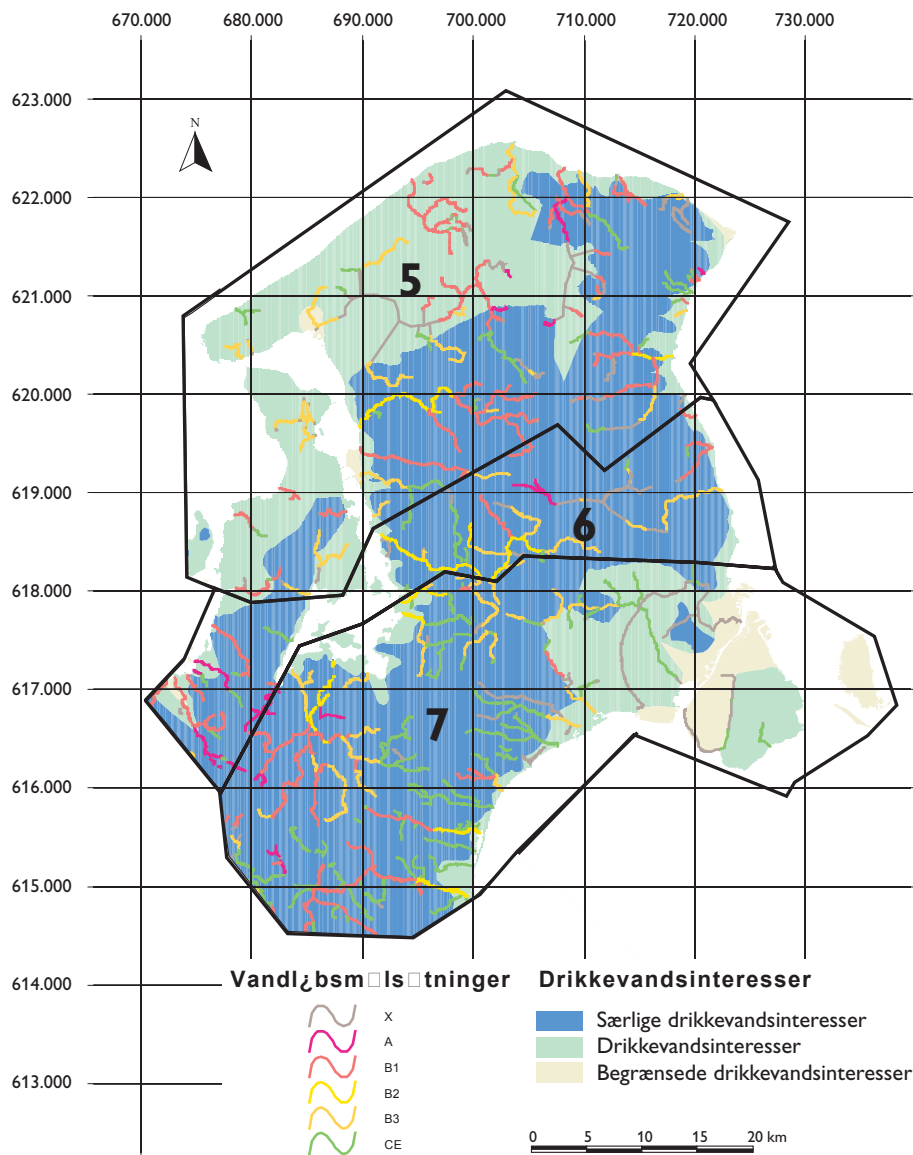
- årlig nettonedbør og periodegennemsnittet 1991-2000 (input til stationære kørsler)
- daglig nettonedbør 1991-2000 hvorudfra der er midlet en serie med gennemsnitlig års-tidsvariation (input til dynamiske simuleringer)
- oppumpning for 1991-2000 samt estimater af markvandingens udnyttelsesprocenter for hvert år 1991-2000, i forhold til tilladelser

Herudfra er der genereret oppumpninger svarende til:

- 0, 100 og 150 % vandindvinding til brug for dynamiske simuleringer
- 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % vandindvinding til brug for stationære simuleringer

For Vestjylland og Nordsjælland foretages desuden simuleringer med 95 % konfidensintervaller bestemt ved den automatiske kalibrering. Det er valgt at basere disse på den "vertikale hydrauliske ledningsevne" for morænen, som er den mest følsomme parameter for Øerne og Jylland.

Opgørelsen foretages med 4 valgte indikatorer (2 defineret ud fra dybere grundvandsdannelse og 2 defineret ud fra afstrømning, se kapitel 3). Dette giver tal for udnyttelig ressource for 11 delområder (typisk ca. 3000-5000 km<sup>2</sup>), 11 aggregerede OSD områder (typisk ca. 1000-2000 km<sup>2</sup>) og 50 underområder fra den nationale vandressourcemodel, DK-model (typisk ca. 500-2500 km<sup>2</sup>). I figur 3.1 er vist et eksempel på skalering af opgørelsen for Sjælland.



Figur 3.1 Eksempel på opdeling delmodel for Nordsjælland på 3 geografisk underområder. Det aggregerede OSD område indenfor underområde 5, 6, 7 udgør ligeledes grundlag for vurdering af udnyttelig vandressource. Recipientmålsætninger (A-E) er vist på figuren.

### 3.2.2 Valg af reference scenarie for simuleringekørsler

Følgende er valgt som "reference situationen":

- ingen vandindvinding (det antages at alle oppumpninger er slået fra)
- netto nedbør svarende til 1991-2000 (hhv. stationært og dynamisk datasæt)
- arealanvendelse svarende til kalibreret og valideret model (skov, vådområde, åbent land og byområde)

Herved er det muligt at vurdere påvirkning af vandføring i %, i forhold til reference scenariet, når ændret klima og vandindvinding antages, samt at vurdere ændret grundvandsdannelse (ligeledes i %), i forhold til situationen uden vandindvinding.

For specielt området omkring hovedstaden, er valg af referencesituation problematisk. Situationen som vi har valgt med "ingen vandindvinding", er meget forskellig fra den nuværende situation, og det er derfor også noget "usikkert" specielt i dette område, hvor pålidelig modellen er til at beskrive ændringer i forhold til denne reference situation. Man kunne i stedet have benyttet fx år 2000 indvinding. Vi har dog valgt at fastholde vort valg, fordi vi mener, at det er i rimelig god overensstemmelse med intentionerne i det kommende Vandrammedirektiv, og fordi vi herved kan fastholde en ensartet metodik for hele landet. Der er behov for mere viden om hvor god modellen er til at beskrive situationen før "urbanisering" og "uden oppumpning", evt. kombineret med en klimamodel, der kan give input til DK-modellen tilbage i tid, for en længere årrække (fx 1800-1900). De lidt sporadiske tests der er lavet (se kapitel 8) for fx Havelse å's vandføring og afsænkninger af grundvandsspejlet i Hovedstadsregionen, viser indtil videre rimelig god overensstemmelse omkring modellens pålidelighed til simulering af referencesituationen, men det er ikke ensbetydende med, at man ikke skal søge yderligere at teste modellen på dette punkt.

### **3.2.3 Definition af udnyttelig grundvandsressource**

Vurdering af *udnyttelig grundvandsressource* ("safe yield") er den *vandmængde, der med bibeholdelse af en god vandkvalitet og opretholdelse af recipient hensyn, maksimalt kan indvindes fra et grundvandsmagasin, og som gendannes naturligt uden uønskede følger* som f.eks. (Miljøstyrelsen, 1995):

- Fortsat afsænkning af grundvandsmagasinet
- Kvalitetsforringelser i magasinet som følge af overudnyttelse (sulfat, nikkel mv.)
- Ind- og opsivning af saltvand
- U hensigtsmæssig påvirkning af eksisterende vandindvindinger (afsænkning)
- Uacceptabel reduktion af vandløbenes minimumsvandføring (indvinding) reducerer minimumsvandføring under kravværdi til f.eks. restvandføring, eller påvirkningsgraden overstiger det acceptable for den givne recipientmålsætning
- Uønsket påvirkning af vådområder (tørlægning)

Matematiske modeller understøttet af feltdata kan spille en afgørende rolle for opgørelse af den fremtidige opførsel af et grundvandssystem, i forhold til forskellige påvirkninger Das-Gupta og Onta (1997), og med henblik på identifikation af en "bæredygtig" udnyttelse og forvaltning af vandressourcen.

Begrebet udnyttelig grundvandsressource ("safe yield") har visse mangler og begrebet "bæredygtig udnyttelse" er en idé som anvendes i udbredt omfang, men som måske ikke er særligt godt forstået i det hele taget.

Generelt er det sådan, at en bæredygtig udnyttelighed af et magasin skal være betragteligt mindre end grundvandsdannelsen, hvis der skal være en tilstrækkelig vandmængde til

rådighed til understøttelse af både kvantitative og kvalitative forhold for vandløb, kilder, vådområder, og grundvandsafhængige økosystemer (Sophocleous, 2000).

For at sikre bæredygtighed er det derfor afgørende nødvendigt, at begrænsninger i udnyttelsen etableres på basis af hydrologiske principper vedr. vandbalancen. Hydrologiske modeller vil kunne bidrage til at tilvejebringe sådanne relationer mellem udnyttelsesgrad og påvirkninger af trykniveau og afstrømning, fx med basis i en simulering af grundvandsdannelsen til dybere magasiner.

### 3.2.4 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til grundvandsdannelse (Indikator 1 og 2)

#### Udnyttelig ressource vurderet som brøkdelt af grundvandsdannelse uden vandindvinding til dybere magasiner (Indikator 1)

På baggrund af kørsler uden oppumpning udtrækkes grundvandsdannelsen (perkolation) til beregningslag 3 (Øerne) og beregningslag 5 (Jylland), som svarer til nydannelsen af dybere "rent grundvand", hvor GRUMO monitoreringen tyder på ringe forurening (< 5 %), jf. kapitel 5, se figur 5.2.

Ved beregning af Indikator 1 antages det, at 35 % af denne grundvandsdannelse er udnyttelig dvs:

Øerne: 
$$\text{Indikator 1} = 0.35 * \text{GVD}_3 * A_{\text{nedadrettet Qz}} / A_{\text{total}}$$

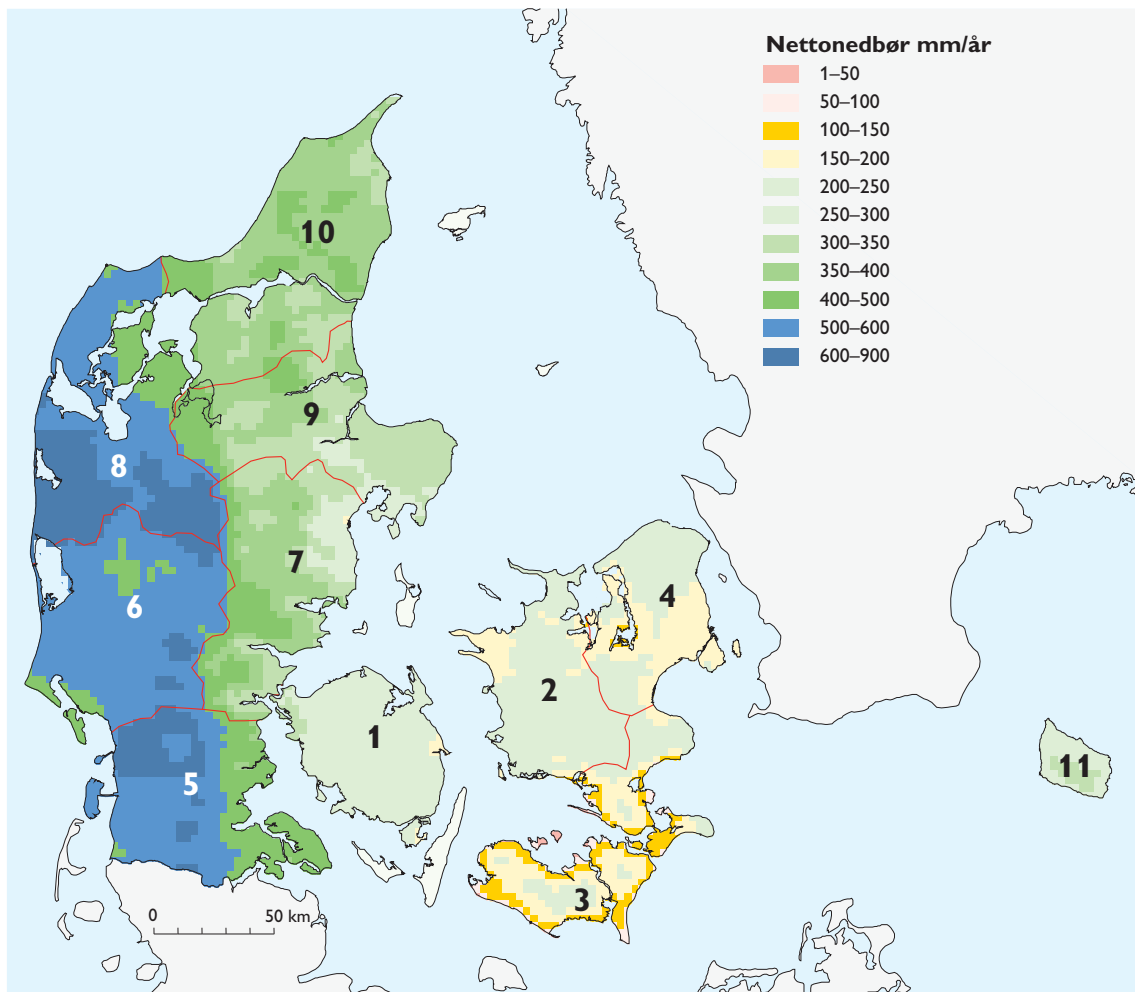
Jylland: 
$$\text{Indikator 1} = 0.35 * \text{GVD}_5 * A_{\text{nedadrettet Qz}} / A_{\text{total}}$$

Hvor

GVD : arealmidlet grundvandsdannelse (kun grids med nedadrettet strømning)

$A_{\text{nedadrettet Qz}}$  : areal af område (eller antal grids) med nedadrettet strømning

$A_{\text{total}}$  : total modelområde

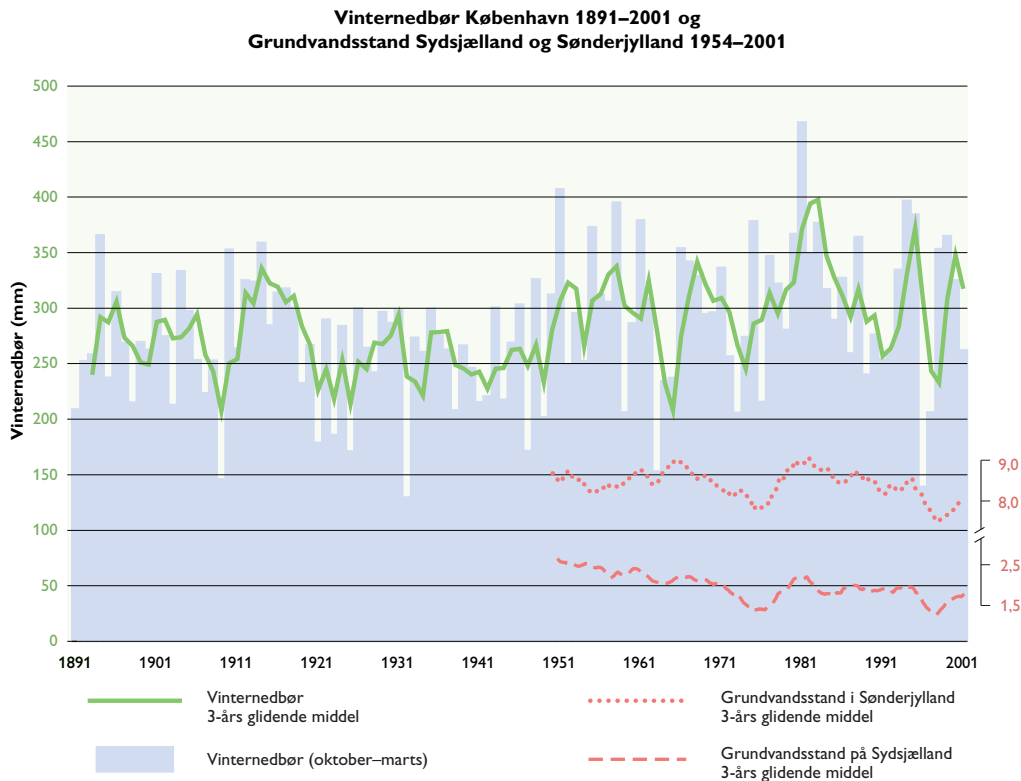


*Figur 3.2 Nettonedbør i Danmark i mm/år. Figuren viser grundvandsdannelse til det øvre grundvand (udjævnet ud fra 1 x 1 km grid), i mm/år baseret på udtræk fra den nationale vandressourcemodel (DK-model). Grundvandsdannelsen (under rodzonen) bidrager dels til drænvandsafstrømning og dels til nedsivning til de øvre og dybere grundvandsmagasiner, hvorfra ferskvandet afstrømmer til vandløb, hav eller bliver oppumpet. Afgrænsning af DK-modellens 11 deloplande fremgår desuden på figuren.*

Der foretages beregninger med den gennemsnitlige nettonedbør for hele perioden 1991-2000, samt de årlige nettonedbørsværdier for hvert år i perioden, således at forskellige klimainput indgår i beregningen. Grundlaget for valg af tørt og vådt år i perioden er nærmere beskrevet i kapitel 6, hvor vandkredsløbets tidlige variationer er beskrevet.

I figur 3.3 er vist variationer i vinternedbør og grundvandsstand for en længere årrække. Det fremgår at vi sidst havde nogen længerevarende tørkeperioder midt i 70'erne og senest i 1996-97. Det ses at grundvandspejlet i disse perioder har været faldende, svarende til at der i perioder med lav vinternedbør, kun sker en begrænset grundvandsdannelse, i forhold til i normale år (Thomsen, 1998; Thomsen og Thøgersen, 1986).





Figur 3.3 Variationer i vinternedbør og grundvandsspejl for en længere årrække.  
Kilde: GEUS (2002).

## Udnyttelig ressource vurderet ud fra nuværende dyb grundvandsdannelse (Indikator 2)

Der beregnes grundvandsdannelser med forskellige oppumpningsintensiteter fx 0, 50, 80, 100, 120 og 150 % af år 2000 oppumpning. Afhængigt af de nærmere hydrogeologiske forhold og placering af vandindvinding i et område (dybde) vil grundvandsdannelsen til de dybere magasiner typisk forøges som følge af forøget oppumpning (svarende til at noget af drænastrømningen "konverteres" til "merinfiltration"). Merinfiltrationen til de dybe magasiner ved pumpning er mest udpræget i Østjylland og på Øerne, fordi vandindvindingen i Vestjylland fra markvanding i et væsentligt omfang sker fra øvre magasiner.

Ved beregning af indikator 2 antages det, at 30 % af den dybe grundvandsdannelse  $GVD_{mop}$  med oppumpning er udnyttelig dvs.:

Øerne: 
$$\text{Indikator 2} = 0.30 \cdot GVD_{3,mop} \cdot A_{nedadrettet Qz} / A_{total}$$

Jylland: 
$$\text{Indikator 2} = 0.30 \cdot GVD_{5,mop} \cdot A_{nedadrettet Qz} / A_{total}$$

Hvor

$GVD_{mop}$  : arealmidlet grundvandsdannelse (kun grids med nedadrettet strømning)

$A_{nedadrettet Qz}$  : areal af område (eller antal grids) med nedadrettet strømning

$A_{total}$  : total modelområde

### 3.2.5 Metodik for opgørelse af udnyttelig ressource i relation til vandløbspåvirkning (Indikator 3 og 4)

#### Påvirkning af middelvandføring (Indikator 3)

Det undersøges hvor meget vand der kan indvindes, før middelafstrømningen reduceres med mere end 10 %. Indikator 3 bygger på en generel filosofi om at man ikke kan sige noget nærmere om hvorvidt det er minimum, middel eller vandføringer derimellem, hvis påvirkning som følge af vandindvinding, der er mest kritisk for dyr og planter. Et simpelt kriterium er derfor en beregning af hvor meget vand der kan oppumpes, før vandføringen fra det samlede opland i vandløb netop reduceres med 10 %, i forhold til referencesituationen uden oppumpning.

Dette kriterium kan vurderes rimeligt præcist med en stationær simulering (Sonnenborg et al., 2003), såfremt den samlede nettonedbør benyttes som input.

Ved stationære simuleringer indregnes spildevand ikke i vandløbsafstrømningen. Indikator 3 tager således ikke hensyn til at rensed spildevand udledes igen, efter at det er blevet pumpet op. Ren overfladisk afstrømning (fra fx befæstede arealer) indgår ikke i beregningen. Det vil sige, at Indikator 3 beskriver hvor meget man kan pumpe op, uden at det samlede bidrag fra grundvandet, reduceres med mere end 10 %.

#### Påvirkning af minimumsvandføring (Indikator 4)

Der er i det følgende anvendt Indikator 4 for vurdering af acceptabel vandføringsreduktion i forhold til målsætninger (Miljøstyrelsen vejledning i Vandforsyningsplanlægning 2. del fra 1979). Indvinding af grundvand til andre formål end forsyning med drikkevand, må ikke være større end at grundvandets kvalitet og kvantitet kan bevares på langt sigt, og at opfyldelsen af kvalitetsmålsætningerne for vandløbene ikke hindres. Den maksimale påvirkning af vandløbene fastsættes herefter jf. tabel 3.1.

*Tabel 3.1 Målsætninger for vandløb og acceptable reduktioner af minimumsvandføringen*

Målsætning	Målsætningskategori	Acceptabel påvirkning af minimumflow (max. reduktion i % af vandføring uden pumpning)
Naturvidenskabelige Interesseområder	A	5 %
Gyde- og opvækstområde for laksefisk	B1	10 %
Laksefiskevand	B2	15 %
Karpefiskevand	B3	25 %
Afledning af vand, påvirkning af spildevand, vandindvinding og okkerbelastning	C-F	50 %

Vejledningen i vandforsyningsplanlægning fra 1979, som stadig er gældende, opfordrer til, at der foretages en konkret vurdering af, om der ud fra lokale forhold kan afviges fra de vejledende tal. I Miljøstyrelsens vejledning om recipientkvalitetsplanlægning fra 1983 er anført en række kvalitetskrav, som skal være opfyldt for, at givne vandløbsmålsætninger er opfyldt. Mest kendt blandt disse kvalitetskrav er kravet om forureningsgraden, som nu er afløst af et indeks kaldet Dansk Vandløbs Faunaindeks, DVFI. Et af de andre kvalitetskrav vedrører vandløbets restvandføring. Der er dog ikke i recipientkvalitetsvejledningen angivet et konkret krav til restvandføringens størrelse.

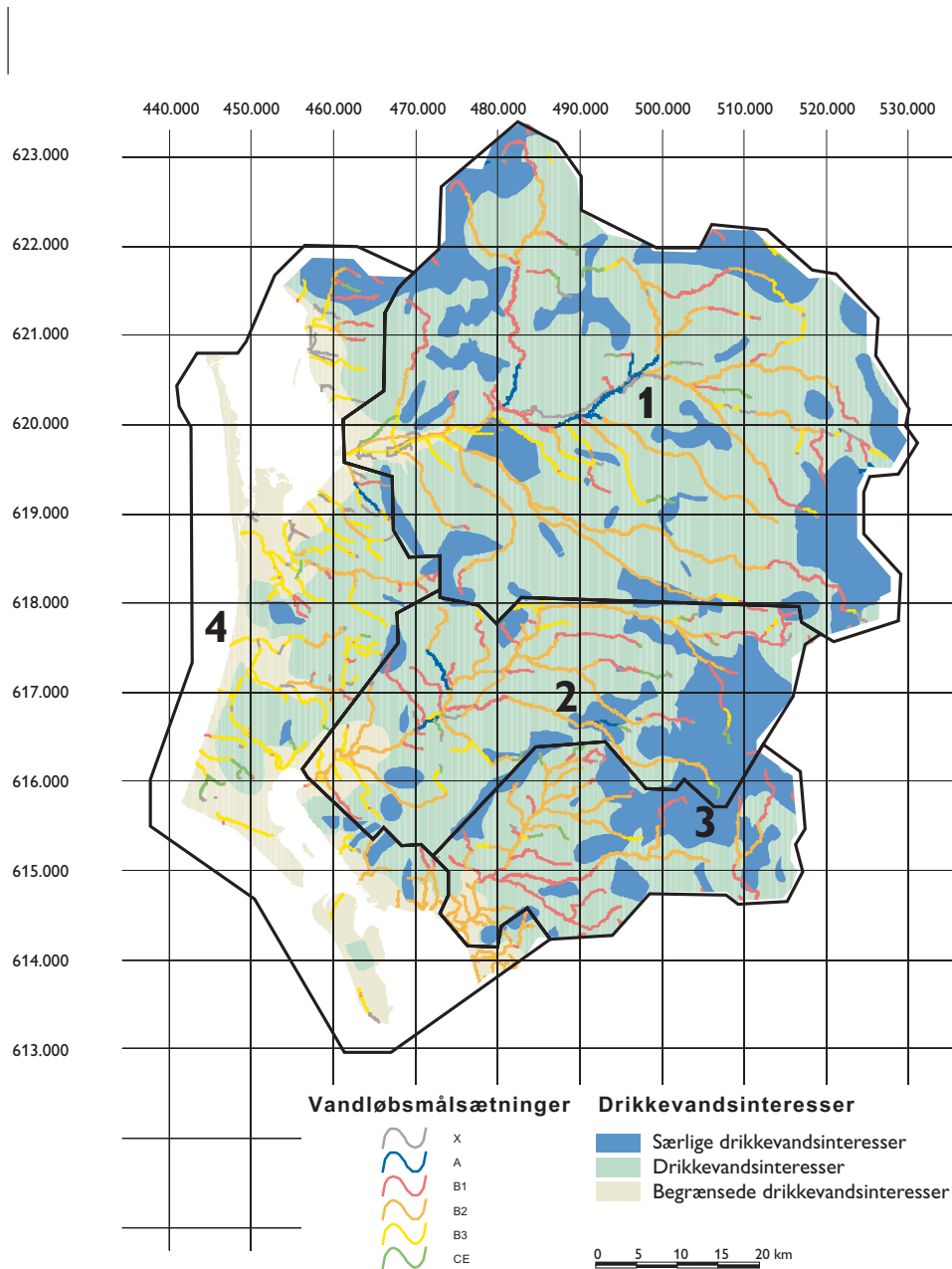
Vandrammedirektivet får formentlig stor betydning for administrationen af restvandføring i vandløb. Ifølge Vandrammedirektivet vil der være to acceptable målsætningsklasser, "høj" og "god". Ved "høj" målsætning kan der fastsættes krav til restvandføring uafhængigt af, om den tilladte vandføringsreduktion har økologiske konsekvenser. Ved "god" målsætning skal der blot være en restvandføring, som sikrer, at der højst sker en "svag" påvirkning af vandløbsøkologien.

Med DK-modellen er det muligt at foretage udtræk af påvirkninger af delstrækninger og efterfølgende gruppere disse resultater enten indenfor OSD områder eller at opgøre den akkumulerede påvirkning for konkrete vandløbsoplande. I denne opgørelse er det valgt at analysere påvirkningen af delstrækninger og ikke kigge på den akkumulerede påvirkning, fx summeret op for en vandføringsstation.

Der anvendes en "tærskelværdi", således at kun såfremt mindst 10 % af det samlede baseflow sker indenfor en given "kritisk kategori" fx A eller B1, indgår den pågældende målsætningskategori i beregningen. Ofte er baseflow indenfor et delområde eller underområde mindre end 10 % af det samlede baseflow til vandløb i området. I såfald udgår kategorien (typisk tilfældet for mange områder for A vandløb). I enkelte situationer kan det være påvirkningen af en lavere målsætningskategori der i praksis sætter grænse for udnytteligheden (fx B2 i stedet for B1). Begrundelse for dette valg er at de 50 underområder har et areal på fra 500 km<sup>2</sup> og oppefter. En tiendedel heraf, eller ca. 50 km<sup>2</sup>, er nedre grænse for på hvilken skala DK-modellen anses for troværdig. Derfor denne tærskelværdi.

Indikator 4 kan kun beregnes ved hjælp af en ikke stationær model (en dynamisk eller transient model). Der benyttes som tidligere nævnt en tidsserie for et enkelt år, som beskriver gennemsnittet fra 10-års perioden 1991-2000 for hver dag i året. Der er dermed indbygget en "normal" årstidsvariation med maksimums- og minimumsafstrømninger.

Den dynamiske model skal bruge ca. 10 år til opstart / til at nå i en rimelig balance, når der køres med forskellige oppumpninger, så der køres for en sikkerheds skyld med tidsserier bestående af 20 års daglig nettonedbør (recykling af 1991-2000 "årstidsvariationsnormalen").



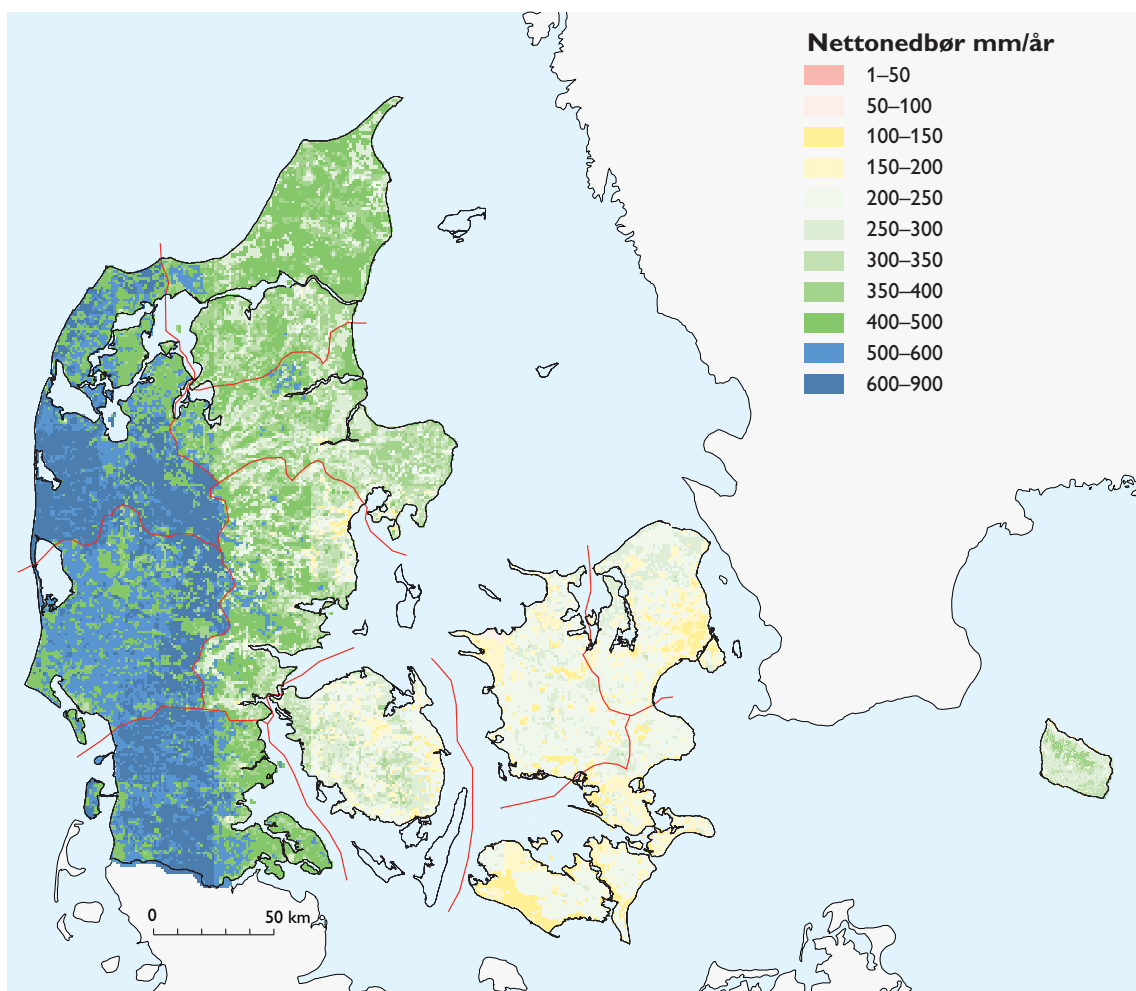
Figur 3.4 Eksempel på klassificering af vandløbsmålsætninger for Sydvestjylland (data fra AIS). A: Naturvidenskabelige interesseområder, B1: Gyde- og opvækstområde for laksefisk, B2: Laksefiskevand, B3: Karpfiskevand, C-E: Afledning af vand, påvirkning af spildevand, vandindvinding og okkerbelastning og X: Ikke klassificeret.

## 3.3 Resultater af ressourceopgørelsen

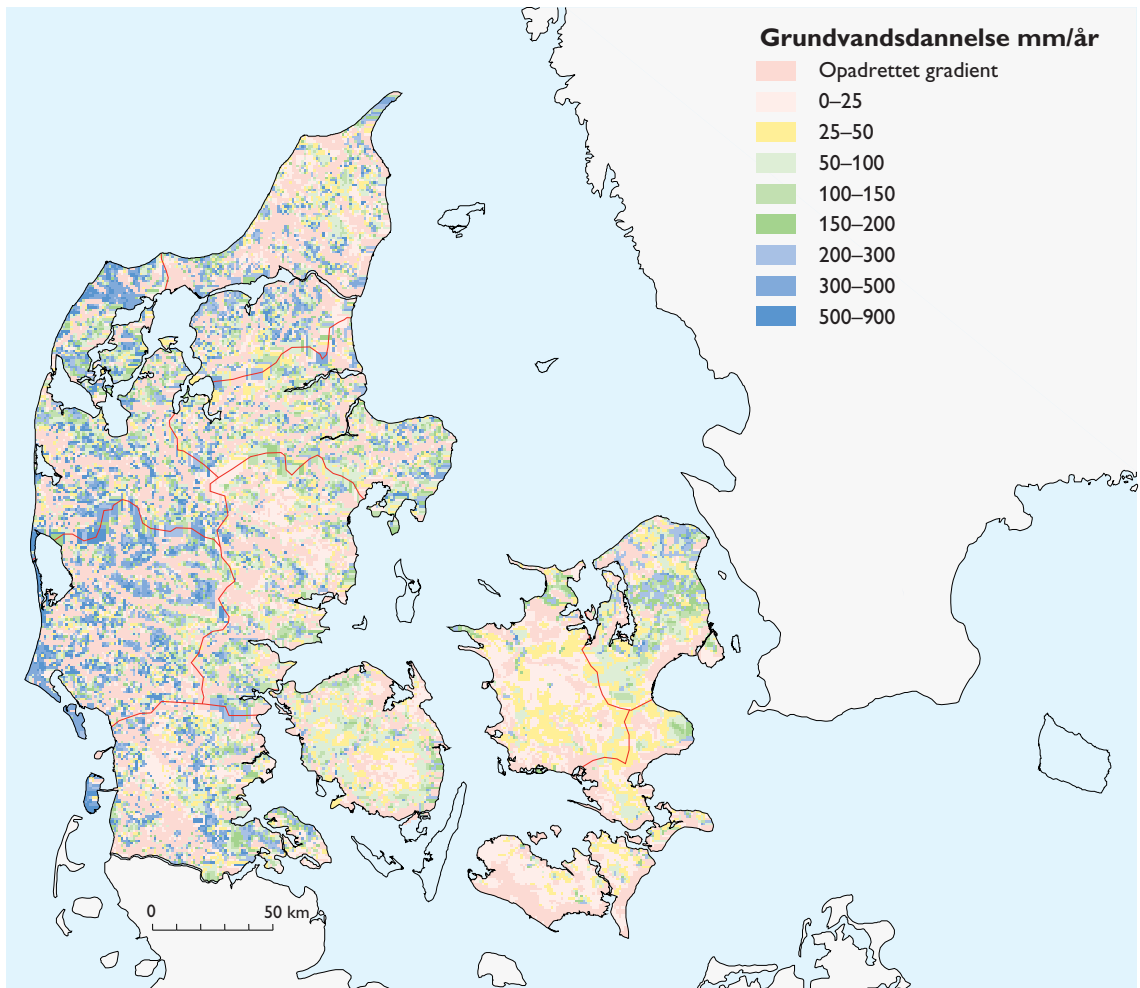
### 3.3.1 Simuleret nettonedbør og grundvandsdannelse

I figur 3.5 og 3.6 er vist simuleret nettonedbør og grundvandsdannelse til dybere magasiner (beregningsslag 3 for Øerne og beregningsslag 5 for Jylland) for hele landet med DK-modellen, baseret på data fra 1x1 km grid. Nettonedbøren er uden overfladisk afstrømning, og beskriver derfor den samlede grundvandsdannelse "under rodzonen".

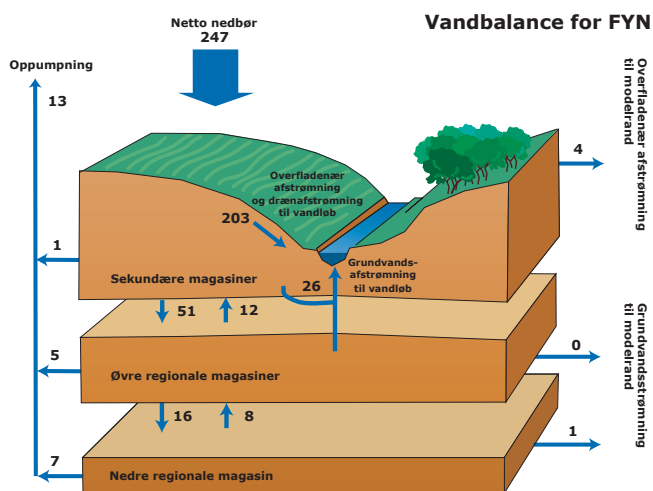
I figur 3.7 er vist vandbalancer for de 10 DK-modelplande.



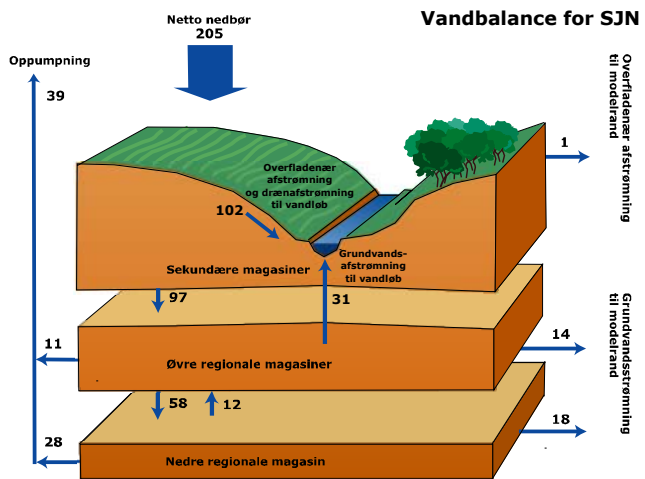
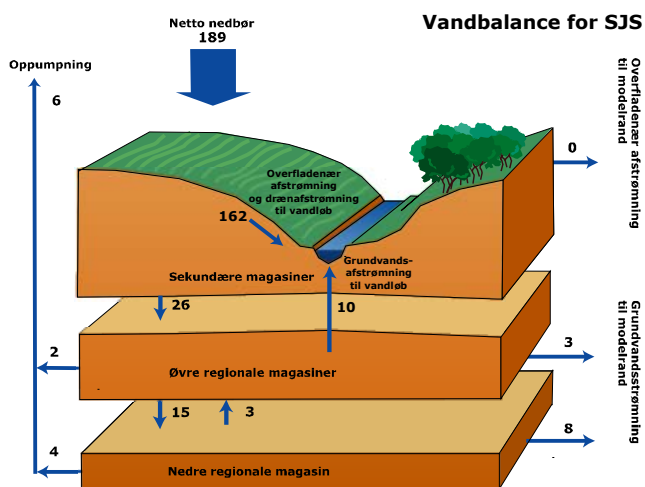
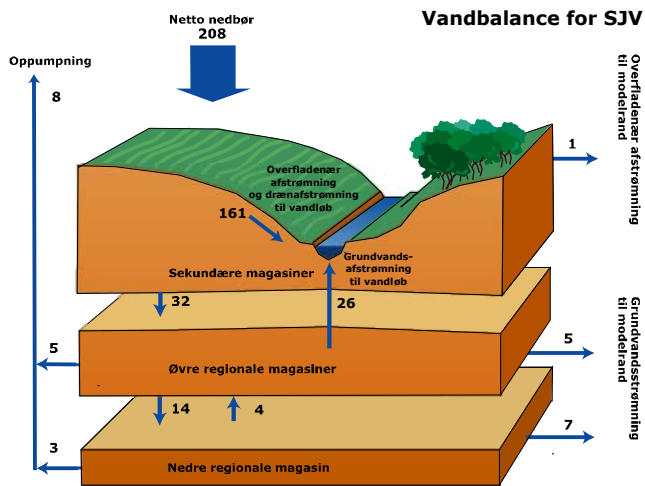
Figur 3.5 Simuleret nettonedbør i mm/år ved hjælp af DK-model (middel 1991-90). Excl. overfladisk afstrømning fra fx befæstede arealer.



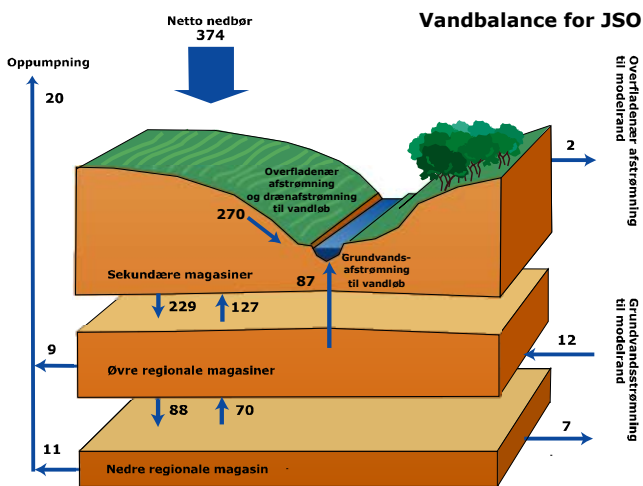
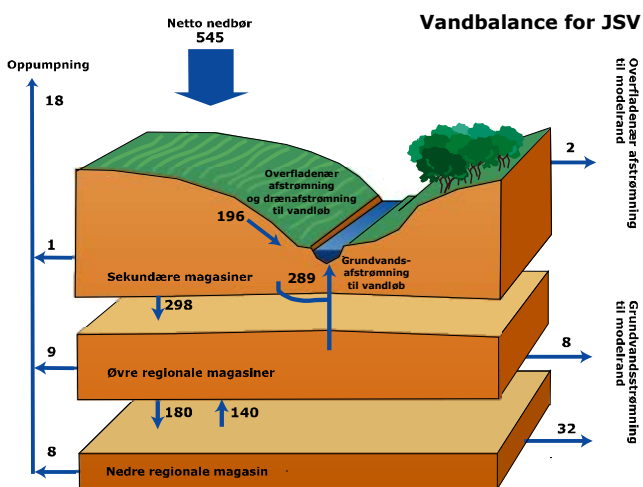
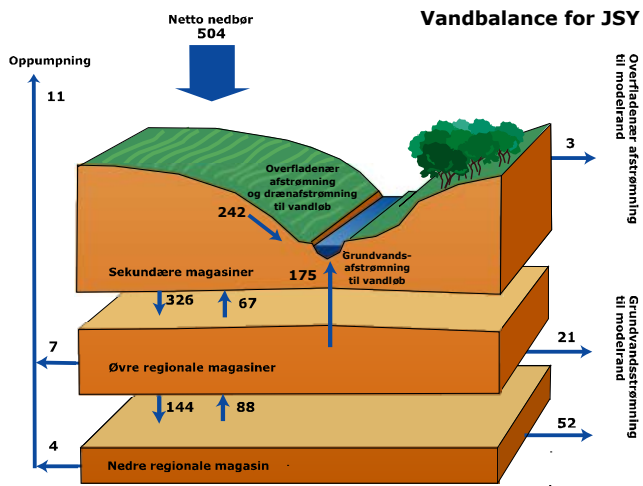
Figur 3.6 Simuleret grundvandsdannelse til dybere magasiner, mm/år (Jylland beregningslag 5 / Øerne beregningslag 3) ved hjælp af DK-modellen. Middel 1991-2000. Vandindvinding svarende til 2000 oppumpning (markvanding ca. ¼ af tilladelser)



Figur 3.7 Vandbalancer for DK-model oplande, mm/år

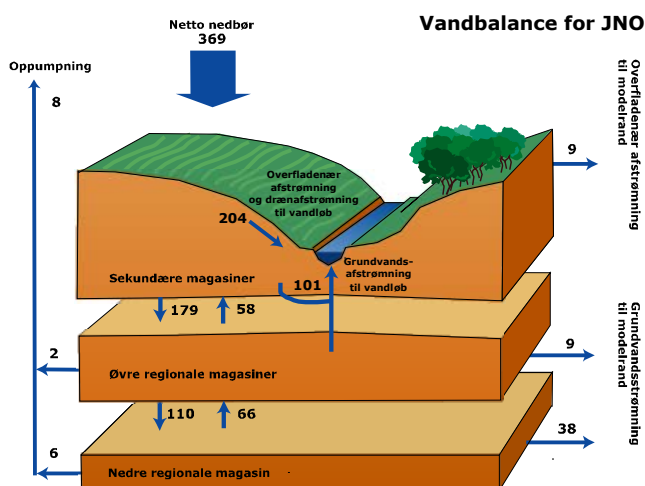
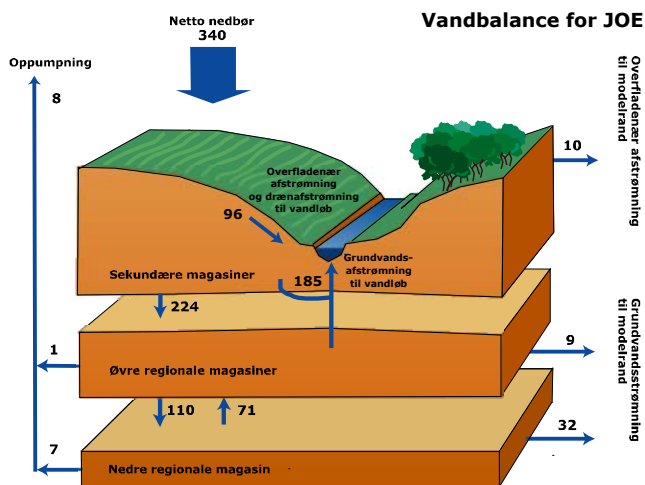
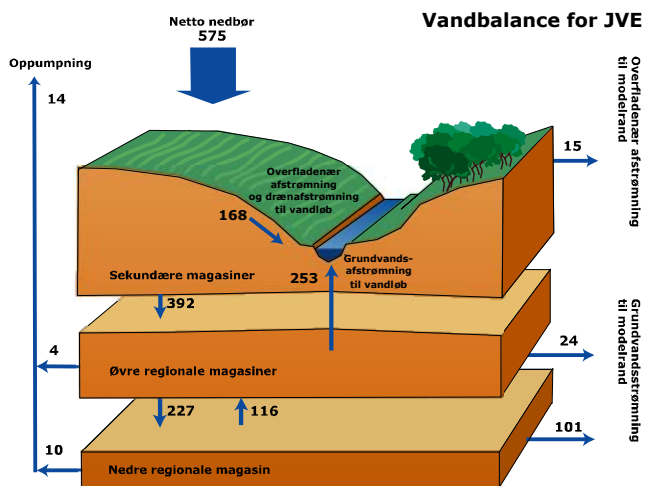


Figur 3.7 Vandbalancer for DK-model oplande, mm/år (fortsat)



Figur 3.7 Vandbalancer for DK-model oplande, mm/år (fortsat 2)





Figur 3.7 Vandbalancer for DK-model oplande, mm/år (fortsat, 3).

### 3.3.2 Ressourceopgørelse for hele landet

I tabel 3.2 er vist resultatet af opgørelsen med de 4 valgte indikatorer for DK-modellens 11 deloplande (Bornholm mangler), baseret på nettonedbør for 1991-2000.

Markvanding for år 2000 er estimeret til ca. ¼ af tilladelsen, og derfor er det valgt i ressourceopgørelsen at benytte faktuelle tal for oppumpede vandmængder til vandværker for år 2000, men for markvanding benytte mængder svarende til tilladelsen i år 2000. Der er derfor beregnet en oppumpning for år 2000, baseret på en korrektionsfaktor, fastlagt på grundlag af hvor stor en del af den samlede indvinding, som er markvanding, i forhold til den samlede vandindvinding til vandværker, erhverv og industri (GEUS, 2002).

Hvor korrektionsfaktoren er særlig stor (fx område 6 Sydvestjylland: faktor = 2,8), er en relativ stor del af indvindingen derfor markvanding. Hvis hele indvindingen i et område var markvanding, ville korrektionsfaktoren antage værdien 4,0.

Tabel 3.2 Opgørelse af udnyttelig ressource for hele landet ud fra 4 valgte indikatorer. For vandværker er benyttet år 2000 faktisk oppumpning, for markvanding er der taget udgangspunkt i tilladelser. Farver angiver udnyttelsesgraden:

Nr	Område	Op-pump. 2000	Faktor x faktor tilladelse	Oppump. 2000 indvinding og markv. tilladelser	Areal km <sup>2</sup>	Reci- pient Målsætn (kritisk)	Indikator 1 0.35 x R (R <sub>3,5 uop</sub> )	Indikator 2 0.30xR (R <sub>3,5 mop</sub> )	Indikator 3 Q-middel 10% Q <sub>mid</sub>	Indikator 4 Q- minimum
	DK-deloplande	mm/år	2000	mm/år			mm/år	mm/år	mm/år	mm/år
1	Fyn	11,7	1,1	12,8	2945	B1	16	15	22	10
2	Vestsjælland	7,9	1,0	7,9	3281	B1	10	9	26	10
3	Sydsjælland	5,5	1,1	6,0	3207	B1	8	8	23	8-8
4	Nordsjælland	39,1	1,0	39,1	2831	B1	28	27	20	14
5	Syddjælland	10,4	2,5	26,0	4500	B1	50	43	>52	47
6	Sydvestjylland	23,7	2,8	66,4	5263	B1	63	54	52	60
7	Sydøstjylland	20,5	1,5	30,8	4705	A	29	25	49	26
8	Vestjylland	14,4	2,5	36,0	5291	B1	78	68	>50	39
9	Østjylland	7,7	1,7	13,1	4418	B1	38	34	33	23
10	Nordjylland	8,1	1,8	14,6	5478	B1	38	33	40	22

**Rød:** oppumpning > 3 x udnyttelig ressource,  
**Lilla:** oppumpning 2-3 x udnyttelig ressource,  
**Gul:** oppumpning 1,2 – 2 x udnyttelig ressource,  
**Grå:** oppumpning 0,8 – 1,2 x udnyttelig ressource,  
**Blå:** oppumpning < 0,5 – 0,8 x udnyttelig ressource og  
**Grøn:** oppumpning < 0,5 x udnyttelig ressource  
 (hvidt felt angiver at indikatorer ikke kunne kvantificere en størrelse)

I opgørelsen i tabel 3.2 er der ikke taget højde for klimavariationer. Disse kan indregnes ved at udtrække tal indikatorer bestemt for hhv. ca. 80 og 120 % nettonedbør, som skønsmæssigt svarer til en tør og våd "hændelse". Denne hændelse forekommer ca. 3 ud af 10

år indenfor en 10-årsperiode. Sandsynligheden for at en 10-20-års periode, som er nødvendig såfremt vandkredsløbet skal indstille sig på en "ny ligevægt", har en sådan tør eller våd situation med hensyn til drivvaribale, er dog meget mindre. Det antages at den valgte variationsramme afspejler noget der vil svare til en "hundredeårshændelse", med hensyn til en længerevarende tør / våd periode.

Ud fra de stationære kørsler er der beregnet en udnyttelig ferskvandsressource for Indikator 1, 2 og 3 på baggrund af 1995 (ca. 80 %'s nettonedbør) og 1993, i visse oplande er valgt et andet år som vådt år, fx 1999 (ca. 120 %'s nettonedbør). Resultater af disse beregninger, sammenholdt med resultatet for Indikator 4 er sammenstillet i tabel 3.3. Her er ressourcen desuden opgjort i mill. m<sup>3</sup> / år.

Klimaets betydning for påvirkningen af minimumsafstrømning er således ikke nærmere kvantificeret. Det ville kræve et større antal transiente simuleringer, hvilket ikke har været muligt indenfor dette projekts rammer. Men modellen kan i princippet anvendes til forskellige scenarie-kørsler, med forskellig input. Det vurderes imidlertid at Indikator 1 kan give et groft bud på påvirkningen af minimumsafstrømningen som følge af ændret klima, idet den dybe grundvandsdannelse også danner det væsentligste input til baseflow i vandløb.

*Tabel 3.3 Vurdering af samlet ressource for hele landet, under hensyntagen til klimavariationer (ca. 80 og 120 %'s nettonedbør i forhold til perioden 1991-90). Resultater for Indikator 1, 2 og 3 sammenlignet med Indikator 4 (ikke vurderet i forhold til klimavariation). Samlet ressource og indvindingstilladelser angivet i kolonner yderst til højre (mill. m<sup>3</sup>/ år)*

NR	Område	2000 Oppump Vandv. markv.- tilladelse mm/år	Areal km <sup>2</sup>	Indikator 4 Q- min. mm/år	Indikator 1 80-120 % nettonedb. mm/år	Indikator 2 80-120 nettonedb. mm/år	Indikator 3 80-120 % nettonedb. mm/år	Samlet Udnyttelig Ressource (tørt klima) mm/år	Samlet Udnyttelig Ressource mill m <sup>3</sup> /år	Vandindv. År 2000 med fuld Markvand. Mill m <sup>3</sup> /år
1	Fyn	12,8	2945	10	15-17	15-16	17-29	10	30	38
2	Vestsjælland	7,9	3281	10	9-10	9-10	17-28	9	28	26
3	Sydsjælland	6,0	3207	8	8-8	8-8	21-27	8	26	19
4	Nordsjælland	39,1	2831	14	25-30	23-27	12-23	12	33	111
5	Sydjylland	26,0	4500	47	47-52	40-45	>52	40	180	117
6	Sydvestjylland	66,4	5263	60	57-71	49-61	40-68	40	211	349
7	Sydøstjylland	30,8	4705	26	28-31	25-27	41-64	25	118	145
8	Vestjylland	36,0	5291	39	67-86	58-75	>50	39	207	190
9	Østjylland	13,1	4418	23	34-41	30-37	26-38	23	102	58
10	Nordjylland	14,6	5478	22	33-42	29-37	31-41	22	121	80
									1054	1133

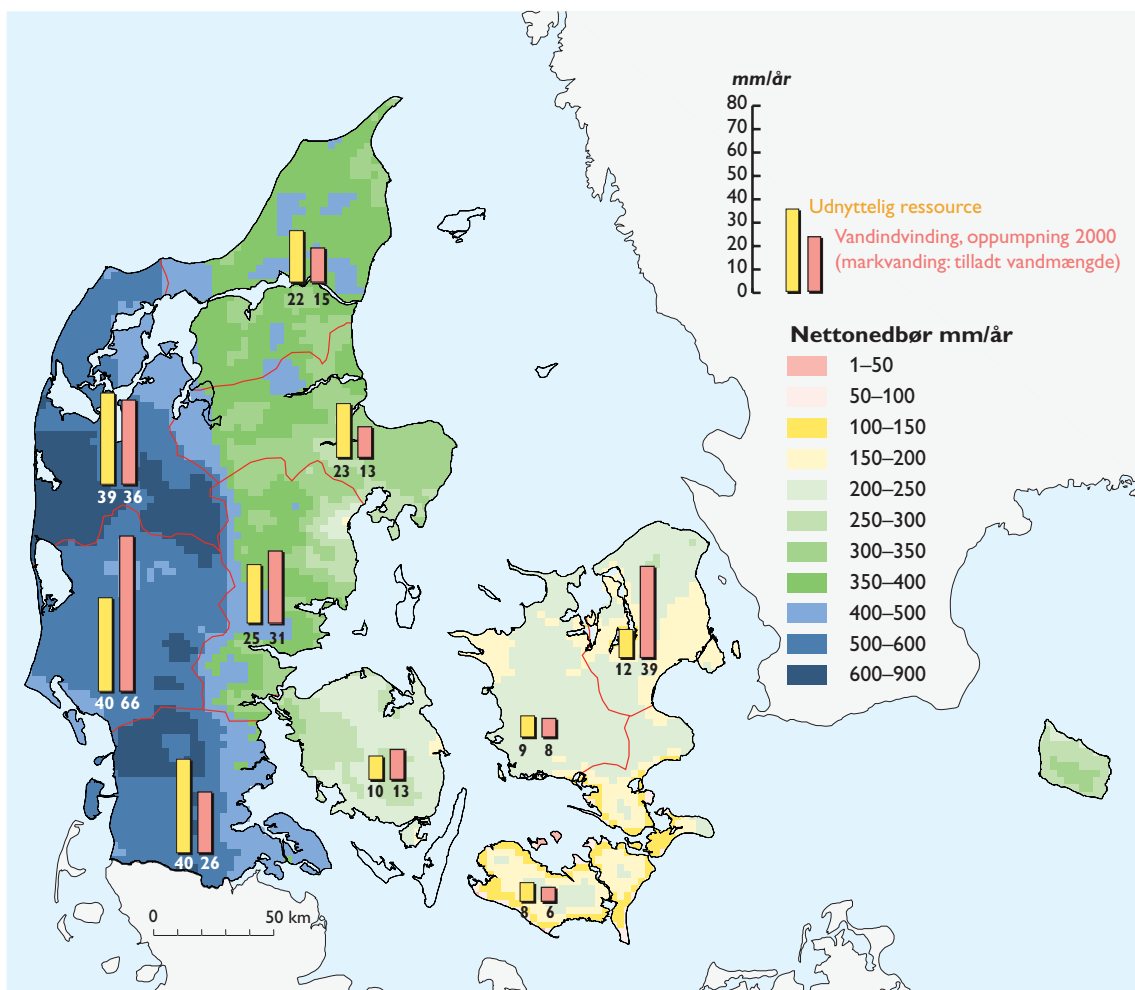
Nordsjælland har røde tal, idet vandindvindingen i dag er ca. 3 gange større (ca. 111 mill.m<sup>3</sup>/år) end den beregnede udnyttelige ressource (ca. 33 mill.m<sup>3</sup>/år), i alt anslået til en overudnyttelse på 78 mill.m<sup>3</sup>/år.

Fyn (overudnyttelse ca. 8 mill. m<sup>3</sup>/år), Sydvestjylland (overudnyttelse ca. 138 mill. m<sup>3</sup>/år) og Sydøstjylland (overudnyttelse ca. 27 mill. m<sup>3</sup>/år) har gule tal (indvinding for vandværker + tilladelser til markvanding > 2 gange udnyttelig ressource). For Vestsjælland og Vestjylland

(grå tal) er situation i "balance". Ressourceopgørelsen viser at Sydsjælland (ca. 7 mill.m<sup>3</sup>/år), Syddjylland (ca. 63 mill.m<sup>3</sup>/år), Østjylland (ca. 44 mill.m<sup>3</sup>/år) og Nordjylland (ca. 41 mill.m<sup>3</sup>/år) har en restressource, som ikke er fuldt ud udnyttet.

På landsplan svarer den udnyttelige ressource omtrent til indvindingen. Der er derfor et fordelingsmæssigt problem, såfremt man politisk ønsker målsætninger for vandløb fastholdt, og samtidig ønsker at indvinde en samlet vandmængde svarende til år 2000-tilladelserne (og fuld markvanding).

Der er naturligvis en stor usikkerhed omkring specielt i hvilket omfang man skal indregne en korrektionsfaktor for markvandingstilladelser. Det er et ubesvaret spørgsmål i nærværende opgørelse, hvor der er regnet på den "sikre side", idet det er antaget at indvindingen til markvanding indregnes svarende til tilladelser. I de sidste 3 år har der kun været indvundet ca. ¼ af tilladelserne, så for de jyske områder, ligger der en betydelig "buffer" / ekstra ressource, såfremt man kan begrænse vandforbruget til markvanding yderligere, fx svarende til forbruget de seneste 3 år. I figur 3.8 er tal for hele landet sammenfattet grafisk.



Figur 3.8 Nettonedbør og søjler der viser udnyttelig ressource og vandindvinding for år 2000 (under antagelse af at markvanding sker jf. "fuld tilladelse").

### 3.3.3 Ressourcesituation i OSD områder

I tabel 3.4 er vist tilsvarende beregninger for det samlede OSD områder:

Tabel 3.4 Udnyttelig ressource i OSD områder indenfor DK-model delområder

NR DK-opland	2000 oppump. mm/år	Faktor	2000 oppump. + 100 % markvand. mm/år	OSD Opland Km <sup>2</sup>	Recip. Mål-sæt.	Indikator 1 mm/år	Indikator 2 mm/år	Indikator 3 mm/år	Indikator 4 mm/år
1 Fyn OSD	15,39	1,1	16,9	1904	B1	18	17	26	8
2 Vestsjælland OSD	10,03	1,0	10,0	1688	B1	10	10	27	12
3 Sydsjælland OSD	11	1,1	12,1	1324	B2	11	10	35	15
4 Nordsjælland OSD	52,4	1,0	52,4	1787	B1	30	26	21	15
5 Sydjylland OSD	11,5	2,5	28,8	1337	A	72	61	45	29
6 Sydvestjylland OSD	20,3	2,8	56,8	1167	A	75	65	59	41
7 Sydøstjylland OSD	34,6	1,5	51,9	1476	B1	36	31	45	43
8 Vestjylland OSD	18,5	2,5	46,3	1318	B1	100	87	56	46
9 Østjylland OSD	11,1	1,7	18,9	1328	B1	49	44	33	28
10 Nordjylland OSD	20,7	1,8	37,3	1013	B1	55	50	52	52

Tabel 3.5 Udnyttelig ressource indenfor OSD områder (2)

OSD områder	Oppump 2000 tilladelse mm/år	Areal km <sup>2</sup>	Indikator 4 Q- min. mm/år	Indikator 1 80-120 % nettonedb. mm/år	Indikator 2 80-120 % nettonedb. mm/år	Indikator 3 80-120 % nettonedb. mm/år	Samlet Udnyttelig Ressource (tørt klima) mm/år	Samlet Udnyttelig Ressource OSD mill m <sup>3</sup> /år	Vandindv. År 2000 med fuld markvand. OSD Mill m <sup>3</sup> /år
Fyn	16,9	1904	8	17-18	15-17	20-34	8	15	32
Vestsjælland	10,0	1688	12	10-10	9-10	18-30	10	16	17
Sydsjælland	12,1	1324	15	11-11	10-10	25-42	10	13	16
Nordsjælland	52,4	1787	15	27-33	21-31	10-26	10	18	94
Sydjylland	28,8	1337	29	68-75	58-64	43-51	29	39	38
Sydvestjylland	56,8	1167	41	69-86	59-73	43-83	41	48	66
Sydøstjylland	51,9	1476	43	34-38	28-35	42-59	28	41	77
Vestjylland	46,3	1318	46	85-110	74-96	50-85	46	61	61
Østjylland	18,9	1328	28	45-53	40-48	27-41	27	36	25
Nordjylland	37,3	1013	52	46-63	41-56	41-68	41	42	38
Hele landet								329	464

Det fremgår af tabel 3.5 at situationen for OSD områder generelt er endnu mere kritisk end for hele landet. Tilladelserne for OSD områder udgør i alt ca. 464 mill. m<sup>3</sup>/år imod en opgjort udnyttelig ferskvandsressource på 329 mill. m<sup>3</sup>/år. Igen spiller markvandning dog en væsentlig rolle for de jyske oplande, og der er i ovenstående beregning anvendt samme korrektionsfaktorer som for hele oplandet (GEUS, 2002).

### 3.3.4 Ressourcesituation i 50 underområder

I tabel 3.6 og 3.7 er vist resultater for 50 underområder.

*Tabel 3.6 Ressourceopgørelse for 50 underområder (Bornholm mangler med 2 oplande)*

DK-model	Op- pump. 2000	Faktor	Op- Tillad. 2000	Areal Km <sup>2</sup>	Recipient Målsætn. Kritisk	Indikator 1	Indikator 2	Indikator 3	Indikator 4
Underområder:	mm/år					mm/år	mm/år	mm/år	mm/år
FYN-Svendborg	12,96	1,1	14,3	311	B1	17	17	23	13
FYN-Assens	6,67	1,1	7,3	458	B1	21	>13	17	8
FYN-Odense	18,17	1,1	20,0	1038	B1	13	11	24	7
FYN-Bogense	6,67	1,1	7,3	530	B1	18	>13	23	10
FYN-Nyborg	7,92	1,1	8,7	608	A	15	15	22	7
SJV-Holbæk	7,9	1,0	7,9	744	B1	16	>12	>30	13
SJV-Kalundborg	4,37	1,0	4,4	1037	A	9	>9	>21	4
SJV-Slagelse	10,0	1,0	10,0	684	B1	7	7	30	7
SJV-Næstved	10,26	1,0	10,3	804	B1	7	6	25	12
SJN-Hillerød	23,3	1,0	23,3	1195	B1	37	33	23	16
SJN-Søndersødal	54,5	1,0	54,5	484	A	36	33	16	12
SJN-København	50,6	1,0	50,6	1112	B1	14	15	15	11
SJS-Fakse	7,71	1,1	8,5	588	B2	14	14	22	6
SJS-Vordingborg	6,41	1,1	7,1	567	B1	8	7	28	6
SJS-Møn	3,28	1,1	3,6	245	B3	15	>7	>16	>15
SJS-Falster	6,71	1,1	7,4	519	B2	7	7	25	7
SJS-Lolland	4,23	1,1	4,7	1253	B3	4	4	20	6
JSY-Vidå	12,1	2,9	35,1	1138	B1	59	50	53	48
JSY-Bræde å	8,6	2,9	24,9	855	B1	58	50	43	39
JSY-Ribe å	10,8	2,9	31,3	967	B1	49	41	54	49
JSY-Konge å	6,4	2,9	18,6	309	B2	33	29	32	42
JSY-Haderslev	6,6	1,5	9,9	512	B1	33	28	>33	30
JSY-Sønderborg	13,8	1,5	20,7	719	A	48	87	69	41
JSV-Skjern	27,7	2,8	77,6	2477	B1	60	52	52	69
JSV-Varde	26,2	2,8	73,4	1101	B1	60	49	58	52
JSV-Holsted	22,8	2,8	63,8	633	B1	51	43	57	69
JSV-Esbjerg	12,2	2,8	34,1	1052	B2	61	84	>46	25
JSO-Gudenå	12,8	1,3	16,6	2142	A	27	23	54	16
JSO-Århus	32,1	1,3	41,7	733	B1	23	19	39	32
JSO-Horsens	17,8	1,3	23,1	616	B1	28	25	37	36
JSO-Vejle	33,6	1,3	43,7	728	B1	35	30	54	31
JSO-Kolding	21	1,3	27,3	486	B1	45	40	55	37
JVE-Storå	22,5	2,9	65,3	1628	A	81	71	65	56
JVE-Ringkøbing	13,9	2,9	40,3	515	B1	81	71	>45	28
JVE-Karup	16,6	2,9	48,1	811	A	65	55	>49	41
JVE-Thy	6,2	1,7	10,5	1047	B1	97	>58	>29	25
JVE-Mors	6,5	1,7	11,0	453	B1	73	>58	>29	48
JVE-Salling	10,9	1,7	18,5	837	B1	39	54	>29	54
JOE-Hjarbæk Fj.	7,0	1,7	11,9	1332	B1	37	33	31	21
JOE-Mariager Fj.	5,7	1,7	9,7	722	B1	37	32	>28	73
JOE-Randers Fj.	9,5	1,7	16,2	1202	B1	35	31	34	49
JOE-Djursland	7,8	1,7	13,3	1162	B1	42	37	29	33
JNO-Vhimmerland	6,4	1,8	11,5	1128	B1	46	41	>32	29
JNO-Ålborg syd	13,3	1,8	23,9	758	B3	47	43	40	30
JNO-Ryå	7,3	1,8	13,1	985	B1	31	28	36	37
JNO-Frederikshav.	6,4	1,8	11,5	1064	B1	32	29	32	16
JNO-Hjørring	11,8	1,8	21,2	931	B1	27	25	42	14
JNO-Fjerritslev	3,8	1,8	6,8	612	B1	45	13	>19	15

Tabel 3.7 Ressource opgørelse for 50 underområder. Klimavariation 80 / 120 % nettoned-bør for Indikator 1, 2 og 3, sammenstillet med Indikator 4. Udnyttelig ressource i mill. m<sup>3</sup>/år sammenlignet med vandindvinding (vandværker, år 2000) og markvandingstilladelser.

DK-underområder	Op-pump. 2000 till. mm/år	Areal Km2	Indikator 4 mm/år	Indikator 1 80-120 % netton. mm/år	Indikator 2 80-120 % netto. mm/år	Indikator 3 80-120 % netto. mm/år	Udnyttelig Ressource mm/år	Udnyttelig Ressource Mill m <sup>3</sup> /år	Vandindvinding 2000, markv. Til. Mill m <sup>3</sup> /år
FYN-Svendborg	14,3	311	13	16-18	16-17	18-30	13	4,0	4,4
FYN-Assens	7,3	458	8	20-22	>13	13-22	8	3,8	3,4
FYN-Odense	20,0	1038	7	12-13	11-13	18-31	7	7,3	20,7
FYN-Bogense	7,3	530	10	18-19	>13	19-29	10	5,5	3,9
FYN-Nyborg	8,7	608	7	14-16	14-16	17-29	7	4,0	5,3
SJV-Holbæk	7,9	744	13	15-17	>12	17-30	10	9,6	5,9
SJV-Kalundborg	4,4	1037	4	9-10	>9	14->21	4	4,5	4,5
SJV-Slagelse	10,0	684	7	7-7	7-7	19-30	7	4,5	6,8
SJV-Næstved	10,3	804	12	7-7	6-7	18-28	6	4,8	8,2
SJN-Hillerød	23,3	1195	16	33-39	30-35	19-35	16	19,5	27,8
SJN-Søndersødal	54,5	484	12	30-42	22-38	11-22	11	5,3	26,4
SJN-København	50,6	1112	11	14-15	15-15	15-25	11	11,7	56,3
SJS-Fakse	8,5	588	6	13-14	14-14	21-29	6	3,6	5,0
SJS-Vordingborg	7,1	567	6	8-8	7-7	17->32	6	3,6	4,0
SJS-Møn	3,6	245	>15	11-13	>7	>16	11	2,7	0,9
SJS-Falster	7,4	519	7	7-7	7-7	16-31	7	3,5	3,8
SJS-Lolland	4,7	1253	6	4-4	4-4	13-21	4	4,8	5,8
JSY-Vidå	35,1	1138	48	55-62	46-52	41-58	41	46,7	39,9
JSY-Brede å	24,9	855	39	53-62	46-53	>43	39	33,3	21,3
JSY-Ribe å	31,3	967	49	46-51	39-43	>54	39	37,7	30,3
JSY-Konge å	18,6	309	42	31-35	27-31	>32	27	8,3	5,7
JSY-Haderslev	9,9	512	30	32-33	28-29	>33	28	14,3	5,1
JSY-Sønderborg	20,7	719	41	46-50	84-91	65-66	41	29,5	14,9
JSV-Skjern	77,6	2477	69	55-68	47-58	43-70	43	107,5	192,4
JSV-Varde	73,4	1101	52	55-66	47-56	49-76	47	51,7	80,8
JSV-Holsted	63,8	633	69	47-56	39-48	48-75	39	24,7	40,3
JSV-Esbjerg	34,1	1052	25	54-65	76-90	>46	25	26,3	35,8
JSO-Gudenå	16,6	2142	16	24-29	20-24	45-64	16	34,3	35,6
JSO-Århus	41,7	733	32	22-23	19-23	35-45	19	13,9	30,6
JSO-Horsens	23,1	616	36	27-29	23-27	32-46	23	14,2	14,3
JSO-Vejle	43,7	728	31	34-37	27-30	34-64	27	19,7	31,8
JSO-Kolding	27,3	486	37	42-48	38-42	48->105	37	17,9	13,3
JVE-Storå	65,3	1628	56	71-88	62-77	56-74	56	91,1	106,4
JVE-Ringkøbing	40,3	515	28	70-97	61-85	>45	28	14,4	20,7
JVE-Karup	48,1	811	41	57-73	49-63	>49	41	33,3	38,9
JVE-Thy	10,5	1047	25	81-108	>58	>29	25	26,1	10,9
JVE-Mors	11,0	453	48	62-79	54->58	>29	48	21,8	5,0
JVE-Salling	18,5	837	54	35-42	48-58	>29	35	29,2	15,3
JOE-Hjarbæk Fj.	11,9	1332	21	32-40	29-36	24-35	21	28,0	15,9
JOE-Mariager Fj.	9,7	722	73	32-40	28-35	>28	28	20,2	7,0
JOE-Randers Fj.	16,2	1202	49	31-38	28-34	27-41	27	32,5	19,4
JOE-Djursland	13,3	1162	33	39-45	35-40	25-34	25	29,1	15,4
JNO-Vesthimmerl.	11,5	1128	29	40-52	35-46	29-32	29	32,7	13,0
JNO-Ålborg syd	23,9	758	30	40-54	36-48	32-49	30	22,7	18,1
JNO-Ryå	13,1	985	37	28-35	25-31	33-36	25	24,6	12,9
JNO-Frederikshavn	11,5	1064	16	29-35	25-31	25-32	16	17,0	12,3
JNO-Hjørring	21,2	931	14	24-29	22-26	35-49	14	13,0	19,8
JNO-Fjerritslev	6,8	612	15	38-51	10-14	>19	10	6,1	4,2
								1024	1121

Det fremgår af tabel 3.7 at der er røde tal ( $> 3$  x overudnyttelse) for Søndersødalene og København i Nordsjælland. Der er lilla tal ( $> 2$  x overudnyttelse) for Odense og Århus underområderne.

Der er gule tal (1.2-2 x overudnyttelse) for Nyborg, Slagelse (bl.a. Tude å oplandet), Næstved (bl.a. Suså oplandet), Fakse (bl.a. Stevns og Tryggevejle å oplandet), Hillerød (nordligste del af Nordsjælland), Skjern (Skjern å og Omme å oplandet), Varde (Varde å oplandet), Holsted (Sneum å oplandet), Esbjerg, Ringkøbing, Vejle og Hjørring området.

I figur 3.9 er den opgjorte udnyttelige ressource for underområder vist på et kort, som viser udnyttelsesgraden (faktisk vandindvinding ved vandværker og markvandingstilladelser for år 2000 som procent af den opgjorte udnyttelige vandressource).

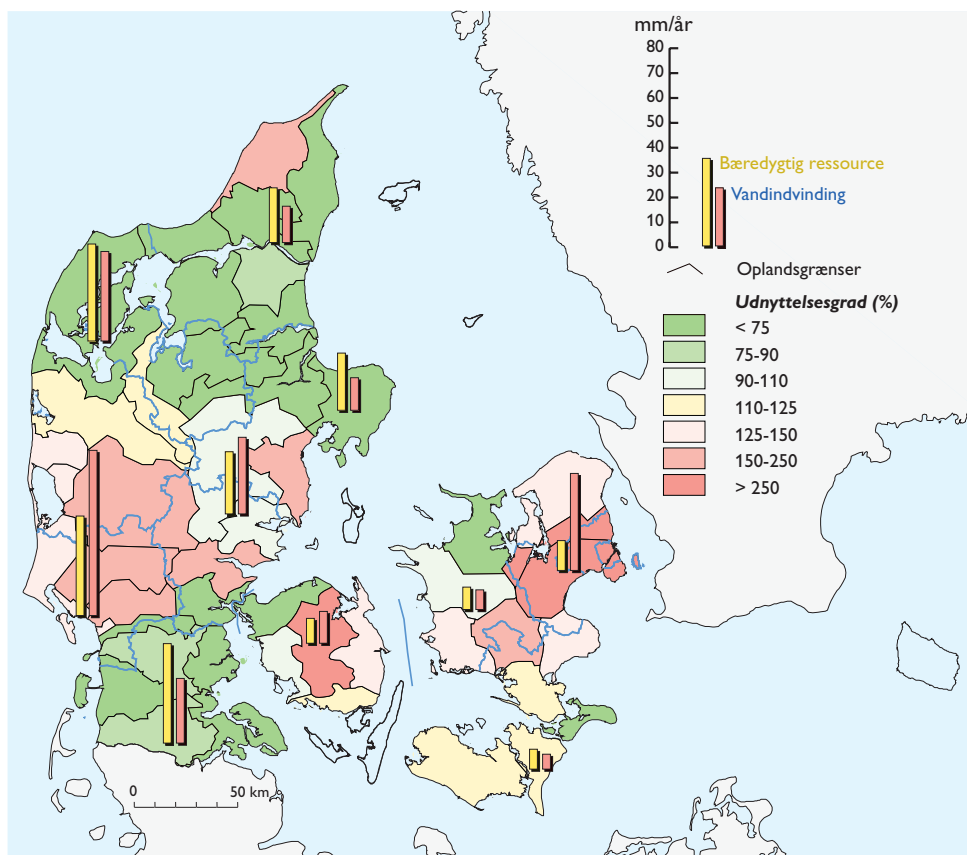
### 3.3.5 Bemærkninger til opgjort ressource

Visse områder har relativ stor forskel på Indikator 3-4 baseret på påvirkning af afstrømning og Indikator 1-2 baseret på grundvandsdannelse. Fx er den udnyttelige ressource i Søndersødalene, der ellers er et område med stor grundvandsdannelse, kun ca. 11 mm/år, og dermed kun ca. det halve af Indikator 1 og 2 i tørre år, og kun 1/3 af Indikator 1 i et normalt år. Dette kan umiddelbart virke bemærkelsesværdigt. En væsentlig forklaring finder man imidlertid i det forhold, at den for opgørelsen styrende recipientmålsætning i Søndersødalene i dette tilfælde er målsætning A (Indikator 4), samt at klimavariationer i dette område er meget vigtige for såvel Indikator 1, 2 og 3. Det betyder, at Indikator 3 i meget tørre år går hen og bliver den mest begrænsede størrelse for den udnyttelige vandressource.

I Nordsjælland spiller klimavariationen dermed en vigtig rolle for skønnet, og der er behov for at undersøge dette forhold nærmere, hvilket vil kunne ske ved en kobling af avancerede regionale klimamodeller med en avanceret hydrologisk model, som DK-modellen. Vandhusholdningen i Nordsjælland er desuden stærkt reguleret, som følge af områdets geografi, med en række større søer. Der er derfor i dette område forskellige modforanstaltninger mod overudnyttelsen i specielt tørre år som vil kunne overvejes. Hertil kommer mulighederne for fx kunstig infiltration, som er gode i områder med relativt tykke sandlag (som demonstreret med Arresø infiltrationsanlægget).

Andre forklaringer på at nogen områder har stor forskel på de forskellige indikatorer kan være, at det er forskellige forhold der sætter begrænsninger, fx forskellige typer geologi og vandindvindingsstrukturer. Nogen steder har indvindingsboringerne i de vandførende lag god kontakt til vandløb, og det forøger påvirkningsgraden. Andre steder er kontakten til vandløb og søer mindre god. DK-modellen beskriver udvekslingen mellem grundvand og vandløb relativt groft, og der er helt klart behov for mere viden og nogen mere detaljerede studier af denne udveksling. Der er også behov for, at amterne i forbindelse med modelleringen på mindre skala (OSD områder), med de modeller der opstilles her, revurderer ressourcen baseret på de 4 indikatorer, således at betydning af detaljeret geologisk model, repræsentation af indvindingsboringer / vandløb eftervises med en mere detaljeret model.





Figur 3.9 Udnyttelig ressource for DK-model underområder. Søjler viser 10 deloplande.

I områder med et stort markvandingsbehov (bl.a. Vestjylland) spiller klimavariationen ligeledes en vigtig rolle for den udnyttelige ressources størrelse. Dette peger på et interessant forskningsområde, hvor avancerede klimamodeller kobles til en avanceret hydrologisk model, med henblik på at komme den udnyttelige ressource nærmere, og måske styre indvindingen til markvanding i kritiske tørre situationer. DK-modellen vil her kunne anvendes som et analyse- og prognoseværktøj. Mange markvandingsboringer indvinder fra det øvre grundvand, dvs. antageligt grundvand som indeholder både nitrat- og pesticider, men der er også en væsentlig del af indvindingen til erhverv (markvanding og dambrug), som hentes fra det dybere grundvand. Et element i forvaltningen af markvandingstilladelser i konfliktområder (markvanding <=> akvatisk miljø), kunne være nogen begrænsninger i forhold til udnyttelse af det dybereliggende (rene) grundvand.

Hvis man opgør ressourcen for hele landet med Indikator 1, og altså ser stort på påvirkningen af recipienterne, vil man nå frem til en samlet ressource på ca. 1,5 mia. m<sup>3</sup>/år, mod det samlede skøn af den udnyttelige ressource på ca. 1 mia. m<sup>3</sup>/år, hvor man tager hensyn til både vandkvalitet og recipienter, dvs. tager udgangspunkt i vandkredsløbet.

Grundvandsdannelsen til de dybe magasiner udgør i naturtilstanden (uden pumpning jf. Indikator 1: 1,5 mia. m<sup>3</sup>/år divideret med 0,35)) i alt ca. 4,3 mia. m<sup>3</sup>/år på landsplan. Den samlede nedsivning fra rodzonen til det øvre grundvand udgør til sammenligning ca. 16 mia. m<sup>3</sup>/år. Det vil sige at ca. hver fjerde vanddråbe, der siver ned fra planternes rodzone, ad åre bidrager til fornyelsen af vort dybtliggende grundvand i mere end 30-50 m's dybde.

Opgørelsen underbygger, at der er en ressourceknaphed omkring Hovedstaden, Odense, Århus og en række andre områder. Der er derfor behov for at kigge på andre indvindingsmuligheder, både for at sikre en solid forsyningssikkerhed i disse områder, men også for at muliggøre neddrøslinger i indvindingen i områder med følsom natur.

Det øvre grundvand føder både de fremtidige dybe drikkevandsreserver og bidrager nu og her til vandtilførslen til vandløb, søer og hav, og er dermed en central spiller for både vandmiljøet og drikkevandet. Anvendelsen af de vejledende recipientpåvirkninger fra 1979 er den størrelse der er mest begrænsende for den samlede ressource.

Når vi argumenterer for brug af disse vejledende krav, opstillet for snart 25 år siden, er det bl.a. fordi det øvre grundvand er så forurenet som tilfældet er i dag (hver femte boring indeholder nitrat og pesticider over grænseværdien), men også fordi, at krav til restvandføringen vil være ultimative i forhold til Vandrammedirektivet. Men der er behov for videnopbygning omkring nogen påvirkningsprocenter, som er bedre koblede til de økologiske målsætninger, vandkvalitet, fysiske forhold, vandføring osv.

Vandrammedirektivet indeholder også en "løftestang" til at forureningssituationen i det øvre grundvand kan "vendes". Det vigtigste signal som opgørelsen af ferskvandsressourcen derfor sender til os, er at vi skal blive bedre til at beskytte det øvre grundvand mod forurening med nitrat og pesticider, end vi hidtil har været. Denne indsats er allerede i gang, men bør styrkes yderligere og bl.a. bør grundvandsforekomster udenfor OSD områder indgå, så de mest sårbare områder beskyttes yderligere.

### **3.4 Usikkerheder på opgørelsen af udnyttelig ressource og yderligere vidensbehov**

For Nordsjælland er der lavet en kørsel med antagelse af hydraulisk ledningsevne for moræner svarende til 95 % konfidensgrænser bestemt udfra invers simulering. Grundvandsdannelsen varierede i de to kørsler med under 5 %, så usikkerheden som følge af parameterfastsættelse vurderes begrænset. Der er lavet en lignende vurdering for Sydvestjylland som viste en usikkerhed af størrelsesordenen 5-10 %.

For Sydvestjylland er der ligeledes analyseret på konfidensgrænsers betydning på parameterværdier, her også med inddragelse af betydningen af kalibreringsdatasæt. En undersøgelse med brug af pejledata fra hele perioden 1971-2000 i forhold til perioden 1990-94 viste her, at usikkerheden på opgørelsen af dyb grundvandsdannelse var mindre en ca. 6 %.

Så samlet skønnes usikkerheden på opgørelsen til ca.  $\pm 20\%$  for DK-modellens 11 deloplande, og  $\pm 40\%$  for de 50 underområder. Samme usikkerhed for OSD områder indenfor de 11 deloplande. Tal for hele landet skønnes at have en usikkerhed på  $\pm 10\%$ .

Der er imidlertid andre usikkerheder, som spiller en større rolle for vurderingen af ressourcens aktuelle udnyttelsesgrad bl.a.:

- Definition af den dybde (anvendt beregningslag 3 og 5) hvorfra udtræk af grundvandsdannelse til brug ved Indikator 1 og 2 sker, større dybde => mindre ressource (hvis forureningen trænger ned i større dybde, formindskes ressourcen; hvis det lykkes at styrke grundvandsbeskyttelsen, så der kan indvindes vand mere terrænnært: større ressource!). Disse ting er ikke nærmere indregnet i skønnene.
- Fastsættelse af kravværdier til middel- og minimumsafstrømning (10 % og rec. Målsætninger A, B1, B2, B3 og C påvirkninger). Behov for videnopbygning omkring fastsættelse af egnede / mere egnede indikatorer, og underbygning af disse i forhold til bl.a. økologiske forhold i vandløb og vådområder.
- Fastsættelse af korrektionsfaktorer (markvandingsstilladelser) og mere realistisk skøn af længerevarende effekt af markvanding i situation med tørt klima (kræver formentlig dynamiske simuleringer, men det kan i princippet lade sig gøre at lave disse simuleringer med DK-modellen > nyt projekt!)
- Usikkerheder på inputværdier, nedbør og fordampning (mangler men kan være ret betydelig på mindre skala, uden dog at være det på stor skala)
- Usikkerhed på geologisk model (kan have stor betydning i områder med fx dybe dale, hvis sådanne ikke er kortlagte tilstrækkeligt, men har i øvrigt ikke nogen stor betydning for overordnede tal)
- Usikkerhed på randbetingelser (udveksling med havet). Denne faktor bør ikke undervurderes. Der er i modellen ikke taget hensyn til densitetsforholds betydning i kystzonen eller til mindre permeabilitet fx i Vadehavsområdet, i forhold til i det centrale Jylland. Modellen kan i visse områder evt. overvurdere grundvandsafstrømningen til havet, idet vandet i praksis kun kan udstrømme over saltvandsgrænsen. Den underjordiske afstrømning til havet kan derfor i princippet være overvurderet specielt i Vestjylland og langs dele af Limfjorden.

Det vurderes at usikkerheden på forudsætningerne samlet er ca.  $\pm 30\%$ , det vil sige at den udnyttelige ressource ligger et sted mellem 0,7 og 1,3 mia. m<sup>3</sup>/år.

### 3.5 Vandrådets metodik og resultater

Vandrådet vurderede som bekendt den udnyttelige ressource til ca. 1.8 mia. m<sup>3</sup>/år og nettonedbøren til 12 mia. m<sup>3</sup>/år.

DK-modellen giver til sammenligning hermed en udnyttelig ressource på ca. 1,0 mia. m<sup>3</sup>/år og en nettonedbør på 16 mia. m<sup>3</sup>/år.

Vandrådet tog i sin opgørelse (Miljøstyrelsen, 1992) udgangspunkt i nettonedbøren, som en størrelse der er bestemmende for den udnyttelige ressource. I princippet er nettonedbøren, fratrukket den del der føres direkte til vandløb, tilgængelig for grundvandsindvindin-

gen. I praksis vil jordlagenes geologiske og kemiske forhold imidlertid begrænse de tekniske indvindingsmuligheder. Endelig vil politisk bestemte hensyn til vandføringen i recipienterne sætte grænser for omfanget af indvindingen.

Vandrådet baserede således sit estimat på at nettonedbøren er bestemmende for vandressourcens absolutte størrelse, mens de hydrogeologiske forhold bestemmer, hvor stor en del af nettonedbøren det er muligt at indvinde fra grundvandsressourcen. Eksempelvis vil der kunne indvindes en meget større vandmængde fra et gruslag end fra et lerlag, selv om lagene som udgangspunkt indeholder den samme mængde vand. Dette skyldes lerets store evne til at holde på vandet. De jordlag, der er interessante ud fra et vandindvindings synspunkt, må således have en god evne til at lede vandet.

Vandrådet baserede derfor sin opgørelse på en antagelse om, at en bestemt del af nettonedbøren (indvindingsprocenten) er tilgængelig for vandindvindingen. Indvindingsprocenten blev i praksis fastlagt på baggrund af de hydrogeologiske forhold (Miljøstyrelsen, 1992).

Vandrådets opgørelse var ikke baseret på korrigerede nedbørstal, idet det på basis af en sammenligning af afstrømningen for større oplande blev vurderet, at der var en tilsvarende fejl på fastlæggelsen af aktuel fordampning, som opvejede den systematiske fejl på nedbøren (Miljøstyrelsen, 1995).

Den anvendte opgørelsesmetode var forbundet med betydelig usikkerhed, idet tallene blev fastsat under forudsætning af normal recipientbeskyttelse, og derfor ikke tog hensyn til forskellige recipientmålsætninger i et givent område (Miljøstyrelsen, 1995).

På baggrund af geologisk betingede indvindingsprocenter og nettonedbør samt data for nuværende indvinding og medianminimumsafstrømning skønnet på kommunebasis blev der udarbejdet følgende kortbilag (Miljøstyrelsen, 1989):

- årlig nettonedbør (1931-60, mm),
- medianminimumskort (l/skm<sup>2</sup>)
- indvindingsprocent på kommunebasis (% af nettonedbør)
- grundvandsressource på kommunebasis (indvindingsmulighed, mm)
- grundvandsindvinding på kommunebasis (1985, mm)
- restressource på kommunebasis (mill. m<sup>3</sup> pr. år)
- udnyttelsesgrad på kommunebasis (indvinding i % af grundvandsressource)

I forbindelse med Vandrådets arbejde blev der foretaget simple skøn over påvirkningsgraden (af vandløbenes medianminimumsvandføring). For vandforsyningsindvindinger blev det antaget, at påvirkningen af minimumsvandføringen udgjorde ca. 10 % af samlet påvirkning (samlet påvirkning = påvirkning af medianminimumsvandføring + påvirkning af underjordisk afstrømning + induceret infiltration). Begrundelsen var, at en stor del af op-pumpningen returneres til vandløb (i form af spildevand) eller evt. vil kunne reduceres ved kompensationspumpning. Der blev anvendt en tilladelig påvirkning på 20 % af medianminimum (ved ressourcevurderingen for overfladevand), Miljøstyrelsen (1995).

Vandrådet foretog ikke fradrag i ressourcen som følge af forurening (f.eks. miljøfremmede stoffer), og inddrog heller ikke klimavariationer.

Vandrådets opgørelse var således baseret på en empirisk og stærkt forenklet vandbalance metodik på kommunebasis. Metoden gav ikke mulighed for at vurdere betydning af usikkerheder på de estimerede tal og udnyttede ikke eksplicit de betydelige nationale databaser om geologi, jordartsforhold, arealanvendelse, klima og hydrologi.

Den nye opgørelse baseret på DK-model inddrager for første gang vandkredsløbet, som det bærende element (indikatorer for både grundvandsdannelse og påvirkning af afstrømning, som er ret detaljerede i forhold til Vandrådets metodik). Ligeledes er der foretaget en 1. generations integration af vandkvalitet og vandkvantitet, idet grundvandsressourcen ud fra resultater af overvågningsprogrammet, er opdelt i to lag, et forurenede øvre lag og et ikke forurenede dybere lag. Endelig er betydningen af klimavariationen indregnet i opgørelsen, for Indikator 1, 2 og 3.

### 3.6 Referencer

- GEUS (2002) Grundvandsovervågning 2002. GEUS
- Hedeselskabet (1982) Synkronmåling i Havelse å, 1982. Hovedstadsrådet.
- Hedeselskabet (1978) Afstrømningsmålinger i Danmark 1917-70. 10. Beretning. Hedeselskabets Hydrometriske Undersøgelse.
- Henriksen, H.J. (2003a) Mængden er foranderlig. moMentum Nr. 2, 2003. Temanummer: Landets kamp om vandet.
- Henriksen, H.J. (2003b) Opgørelse af den nationale grundvandsressource – Hvad betyder hensynet til overfladevandssystemer? ATV møde, Helnan, Marselis Hotel. 6. november.
- Henriksen, H.J., Højberg, A.L. og Trolborg, L. (2003) Bag om drikkevandet. Aktuel Naturvidenskab. Nr. 4, 2003.
- Henriksen, H.J. og Jørgensen, L.F. (2003) Vandet i grunden. Global Økologi, oktober 2003
- Henriksen, H.J. og Nyegaard, P. (2003) Den konceptuelle vandmodel – ferskvandets kredsløb (1). Geologisk Nyt 5/03.
- Henriksen, H.J. og Sonnenborg, A. (2003) Den kvantitative vandmodel – ferskvandets kredsløb (2). Geologisk Nyt 5/03.
- Miljøstyrelsen (1992) Danmarks fremtidige vandforsyning. Nr. 1, 1992.
- Miljøstyrelsen (1995) Klassificering af grundvandsressource. Rapport nr. 6. 1995.
- Thomsen, R. (1998) Klimaændringer og vandressourcer. Vandteknik 5. Juni.
- Thomsen og Thøgersen (1986) Klimasvingninger og konsekvenser for vandressourcens størrelse. Vandteknik nr. 6 december 1986.
- Sonnenborg, T.O., Christensen, B.S.B., Nyegaard, P., Henriksen, H.J. og Refsgaard, J.C. (2003) Transient modeling of regional groundwater flow using parameter estimates from steady-state automatic calibration. Journal of Hydrology (273) 188-204
- Vandrådet (1992) Danmarks fremtidige vandressource: Rapport fra arbejdsgruppe 1. Ferskvandsressourcens naturlige kvantitet og kvalitet (The future water resource of Denmark: report from working group 1. The natural quantity and quality of the freshwater resource). Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen (in Danish).

