

# Kapitel 7. Vandkredsløbets regionale variationer og klimainput til den nationale vandressourcemodel

Hans Jørgen Henriksen, GEUS

Claus Kern-Hansen, DMI

Niels Bering Ovesen, DMU

<b>Kapitel 7. Vandkredsløbets regionale variationer og klimainput til den nationale vandressourcemodel</b>	<b>1</b>
7.1 Kapitel sammenfatning.....	2
7.2 DMI's klimagrid (40x40 km).....	2
7.3 Regionale variationer i nedbør .....	4
7.3.1 Regionale variationer i årsnedbør 1991-2000 .....	7
7.3.2 Regionale forskelle i vinternedbør .....	9
7.4 Regionale forskelle i reference fordampning .....	10
7.5.1 Årsafstrømning .....	11
7.5.2 Hydrologiske regimer .....	12
7.5.2 Medianminimumsafstrømning .....	14
7.6 Korrektionsfaktorer på nettonedbør bestemt ud fra DK-model .....	15
7.7 Betydning af forskellige antagelser vedr. nedbørskorrektion og fordampning, for vandbalancen.....	18
7.8 Skalaforhold og opgradering af inddata til DK-model .....	18
7.9 Referencer .....	19

I dette kapitel beskrives den regionale variation i nedbør, fordampning og afstrømning, med fokus på de inddata, som er benyttet ved modelberegningerne med DK-modellen.

Som input til beregning af nettonedbøren med DK-modellen er anvendt data fra DMI's 40 x 40 km klimagrid. For nedbør er benyttet månedlige korrektionsfaktorer (1961-90). Som referencefordampning er benyttet modificeret Penmann. Der er kun benyttet overfladekoefficienter for skov.

Årsagen til, at de nye anbefalinger omkring beregning af fordampning ikke er benyttet, er at kalibrering og validering af DK-modellen i stort omfang var afsluttet før de nye anbefalinger forelå (Øerne og sydlige del af Jylland). GEUS valgte i stedet i DK-modellen at "korrigere" det anvendte input til beregningerne, dvs. nettonedbøren, med en fast korrektionsfaktor, som blev "kalibreret" for hvert af de 11 modelområder.

Et centralt tema i dette kapitel er derfor en præsentation af de endelige resultater af nettonedbørskorrektionen for hele landet "kalibreret og valideret" ud fra trykniveau og afstrømning for DK-modellens 11 delområder. Disse tal kan forhåbentligt bidrage til vurdering af styrker og svagheder i de nye anbefalinger, og måske identificere områder, hvor der er behov for yderligere viden eller overvågning i de kommende år.

## 7.1 Kapitel sammenfatning

Nedbøren er for perioden 1991-2000 størst i Sydvestjylland (ca. 1100 mm/år) og mindst på øerne (650-700 mm/år) i kystnære områder. Det centrale Sjælland har nedbør over 750 mm/år. For et tørt år som 1996 var nedbøren i Sydvestjylland kun 750 mm/år og 450-500 mm/år for kystnære dele af Sjælland.

Vinternedbøren (1/10-1/4) er en god indikator for grundvandsdannelsen, idet fordampningen er begrænset. For Sjælland var vinternedbøren for 1991-2000 ca. 400 mm/år, dvs. at overskudsnedbøren udgjorde ca. 300 mm/år.

Forskellen mellem referencefordampning bestemt ved Makkink og Penman, som udgør forskellen på de nye anbefalinger fra DFJ, DMI, DMU og GEUS, og det anvendte i DK-modellen, var for perioden 1991-2000 ca. 70-90 mm/år for Syd- og Østjylland, ca. 30-40 mm/år for Nordjylland, 60-80 mm/år for Fyn og 40-60 mm/år for Sjælland og Bornholm.

Middelafstrømningen for Danmark udgør ca. 320 mm/år. I de østlige dele af landet dog kun ca. 200 mm/år, mens den visse steder i vest er på 400 mm/år. Minimumsafstrømningen baseret på medianminimum udgør i dele af Midt- og Vestjylland ca. 125 mm/år, hvorimod den for store dele af øerne er nede på ca. 30 mm/år.

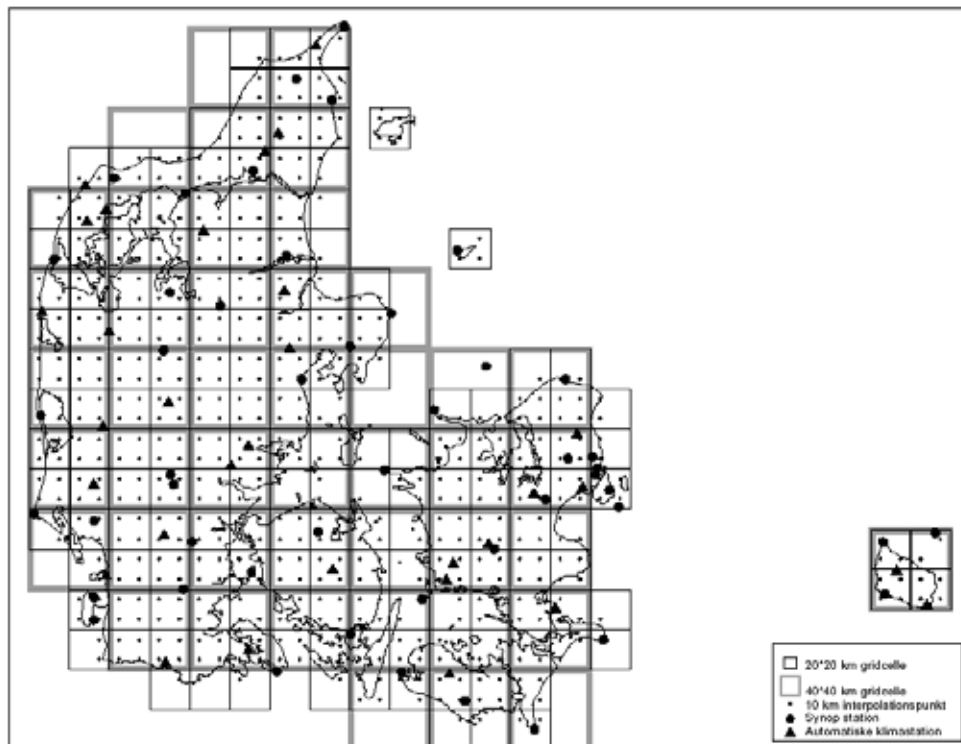
For at opgøre vandressourcens størrelse mere detaljeret er der behov for at teste de nye anbefalinger nærmere i de kommende år, samt betydning af brug af klimadata fra 10x10 km og 20x20 km grid, i forhold til det benyttede 40x40 km grid.

DK-modellen er baseret på nye anbefalinger til nedbørskorrektion, hvorimod der som referencefordampning er anvendt Penman. Ved hjælp af DK-modellen, og kalibrering og validering i forhold til pejlinger i grundvandet og afstrømning i vandløb, er der bestemt korrektionsfaktorer for nettonedbøren som varierer mellem 0,75 – 1,12. For Fyn og Sjælland er vandbalancefejlen bestemt til 65-85 mm/år (korrektionsfaktorer 0,71-0,77). For Sydvest- og Sydøstjylland er vandbalancefejlen bestemt til 60-70 mm/år (korrektionsfaktorer 0,84-0,90). For Nord- og Nordøstjylland er bestemt vandbalancefejl på 30-40 mm/år (korrektionsfaktorer 0,90-0,93). For Sønderjylland er der som helhed ingen vandbalancefejl (korrektionsfaktor 1,0). For Nordvestjylland er der bestemt en "negativ" vandbalancefejl på ca. -60 mm/år svarende til en korrektionsfaktor på 1,12. Begge sidstnævnte oplande har dog modstridende tendenser indenfor deloplandet, hvilket til dels kan hænge sammen med at 40x40 km griddet specielt i disse områder er for groft.

## 7.2 DMI's klimagrid (40x40 km)

Grundlaget for DMI's 40x40 klimagrid er dels tal for 10x10 km klimagrid (nedbør), dels tal fra de landsdækkende net af meteorologiske målestationer (temperatur og øvrige data til beregning af referencefordampning). Stationsnettene er løbende under udvikling, hvorfor antallet og placeringen af stationer har varieret over årene. I 1998 indgik der data fra 29 automatiske klimastationer og 49 synopstationer (Scharling 1999a). Stationerne er ikke

jævnt fordelt i Danmark, idet synopstationerne typisk er placeret kystnært eller ved lufthavne, mens de automatiske klimastationer oftest er lokaliseret i større afstand fra kysten.



Figur 7.1 Geografisk placering af stationstyper (fordampning og temperatur) samt 10 km interpolationspunkter (nedbør). På figuren er desuden vist 10x10, 20x20 og 40x40 km grid.

Overordnet set er den enkeltfaktor, der har den største betydning for lokalklimaet i Danmark, afstanden til havet. Den ujævne stationsdækning udgør således et problem i forbindelse med en klassisk (ikke vægtet) interpolation, idet områder hvor dækningen er ringe, kan risikere at blive påvirket af fjerntliggende stationer, der klimatisk adskiller sig kraftigt fra det klima der eksisterer i interpolationspunktet.

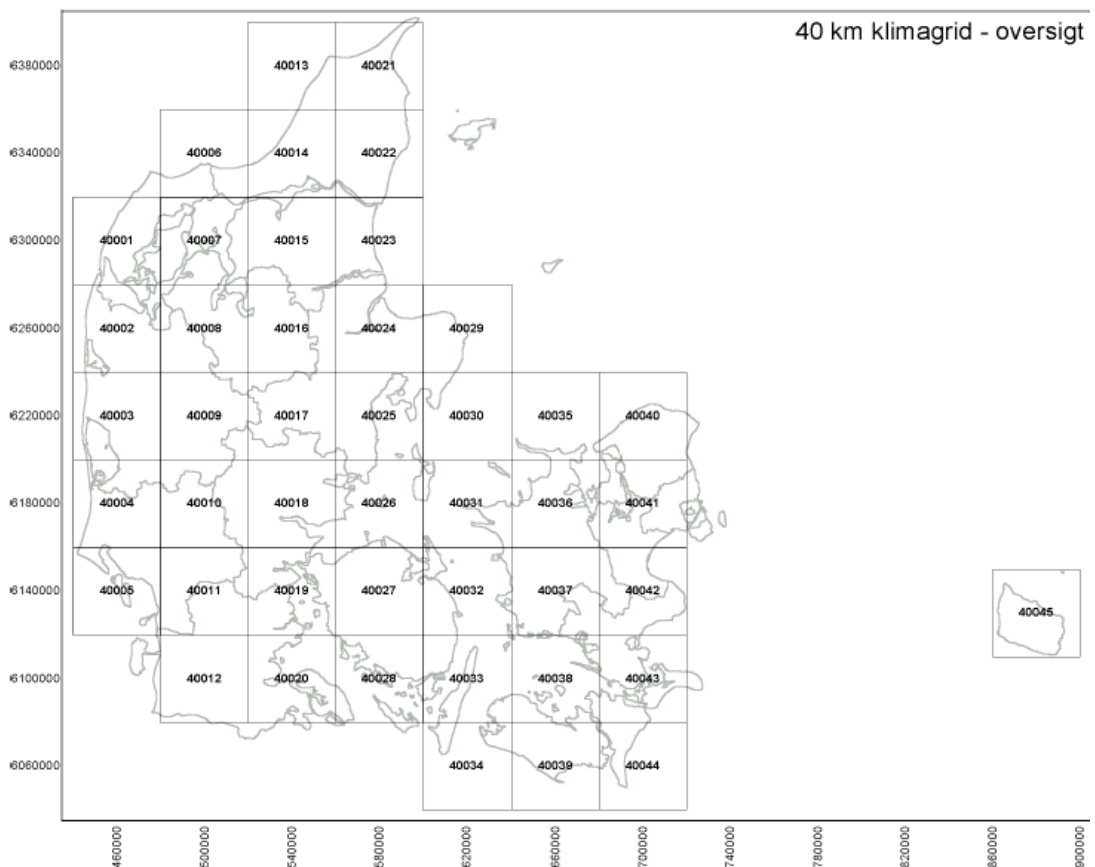
Ovenstående interpolationsproblem er i DMI's "Klimagrid Danmark" forsøgt imødegået ved at foretage to interpolationer,- en med kystnære stationer og en med indlandsstationer. Herefter vægtes betydningen af de to interpolationsresultater for hver enkelt gridcelle på basis af afstanden til havet.

Algoritmen, der bliver benyttet til interpolationsberegningen, benævnes "inverse-distance". Programmet interpolerer punktværdier, der kan være arbitrært placeret, og efterfølgende aggregeres interpolationspunkterne til hhv. 20 x 20 og 40 x 40 km grid, se figur 7.1, således at de fremkomne værdier repræsenterer en arealværdi.

De største usikkerheder er på beregningen af fordampning, på grund af det forholdsvis begrænsede antal stationer der måler stråling (i 1998: de 29 automatiske klimastationer).

Antallet af manuelle nedbørsstationer i Danmark har siden 1980 været over 300 og i dag ca. 500. Stationerne er geografisk set jævnt fordelt ud over landet og aflæses en gang dagligt (ca. kl. 08.00). Disse observationer benyttes som beregningsgrundlag for Klimagrid Danmark, nedbør 10x10 km (Scharling, 1999b).

Sammenlignes 20 og 40 km griddene, fremgår det, at der er langt højere detaljeringsgrad i 20 km gridberegningen. Specielt overgange fra kyst- til indlandsklima sløres på det grovere 40 km grid. Det betyder, at data i 40 km's opløsning er meget udjævnede, og selvom de repræsenterer middelværdien af gridcellerne, kan de dække over betydelige variationer der først kommer til udtryk i 20 og 10 km gridberegninger.



Figur 7.2 DMI's 40 x 40 km klimagrid (Scharling, 1999a)

### 7.3 Regionale variationer i nedbør

Der anvendes i DK-modellen korrigeret nedbør (1961-90), se tabel 6.2. Hvis vi i første omgang kigger på tallene for 1990-2000 (se tabel 7.1) for hele landet, så fremgår det at den ukorrigerede nedbør udgør ca. 733 mm/år, de gamle håndtal (1931-60) gav en korrigeret nedbør på ca. 851 mm/år, mens de nye håndtal (1961-90) som er anvendt til DK-modellen giver en nedbør på ca. 895 mm/år, altså 44 mm/år mere end de gamle korrektioner. Med "håndtal" menes de gennemsnitlige "faste" nedbørskorrektioner for hver måned, gældende som gennemsnit for hele landet for 30-årsperioden.

Klimagrid – Danmark, vægtet landsgennemsnit – årssum (mm)

år	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1990-2000
nedbør [observeret]	578	806	644	698	747	872	644	505	619	855	900	769	733
nedbør [1931-60 korrigeret]	672	936	748	810	865	1015	754	581	718	992	1047	896	851
nedbør [1961-90 korrigeret]	707	985	785	853	912	1072	801	599	750	1036	1105	947	895
nedbør [dynamisk korrigeret]	701	964	784	836	946	1080	856	653	751	1035	1086	913	900
Ep (Makkink)		581	556	617	551	598	620	568	627	536	598	554	582
nedbør - Ep [observeret]		225	88	81	197	275	24	-63	-8	319	302	215	150
nedbør - Ep [1931-60 korrigeret]		355	192	193	314	417	134	13	91	456	450	342	269
nedbør - Ep [1961-90 korrigeret]		404	229	236	361	475	181	31	123	500	507	393	313
nedbør - Ep [dynamisk korrigeret]		383	229	219	396	483	236	85	124	499	488	358	318

Tabel 7.1 Årlige nedbørs- og fordampningstal (Scharling & Kern-Hansen, 2002.)

Tabel 7.1 viser at korrektionen ved hjælp af håndtal (1961-90) på landsplan stort set giver samme nedbør som dynamisk korrektion for landet som helhed. Der er imidlertid en væsentlig regional forskel som vist i figur 7.3 på korrektion af nedbøren ved de to metoder. For det centrale Sjælland giver de dynamiske korrektionsværdier således ca. 40 mm/år mere nedbør end håndtal, mens det for Vestjylland forholder sig omvendt, her giver håndtallene ca. 40 mm/år mere end de dynamiske. I Thy giver dynamisk korrektion ca. 60 mm/år mere end håndtal, og dette område fremtræder stærkt afvigende.

Korrektion af nedbør til jordoverfladen er nødvendig bl.a. fordi målingen foretages i 1,5 m's højde, men er på ingen måde trivial. Korrektionen afhænger af flere forhold, bl.a. læforhold, nedbørstype, temperatur, vindhastighed og nedbørsintensitet (Vejen et al., 1998, Plauborg et al., 2002).

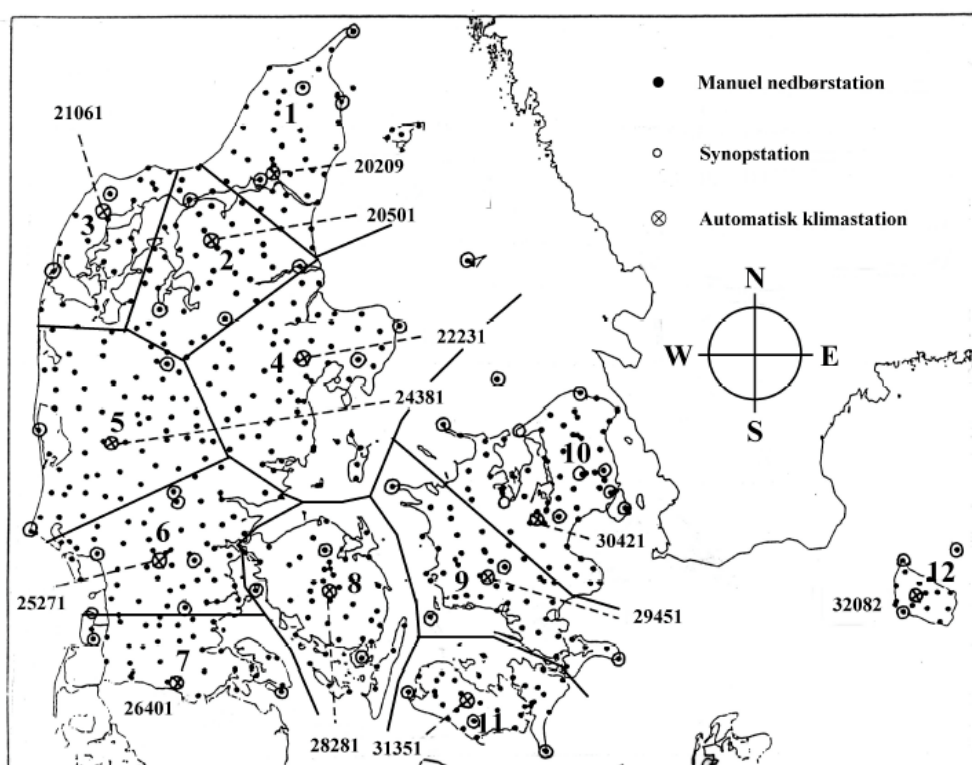


Figur 7.3 Nedbør korrigeret med håndtal (1961-90) minus nedbør korrigeret med dynamiske korrektionsværdier (Scharling & Kern-Hansen, 2002)

De dynamiske nedbørskorrekationer er resultaterne af et forskningsprojekt omkring udledning af en model for nedbørskorrekation anvendt til at beregne månedlige korrekationsfaktorer for 12 regioner / basisstationer (figur 7.4) i årene 1989-1999 (Vejen et al., 2000) og 2000 (Vejen et al., 2001). De dynamiske korrekationer antages at afspejle såvel en årtidsvariation, men også regionale og tidslige forskelle over den nævnte 12 års periode.

Det er imidlertid væsentligt at holde sig for øje, at der i forbindelse med ovennævnte projekt ikke er indgået studier af andre led i vandbalancen. Der har således hidtil ikke været nogle direkte erfaringer med brug af korrekationerne i vandbalanceberegninger på oplandskala, og det er det generelle indtryk (anno 2003), at hverken den valgte metode eller det daværende datagrundlag var tilstrækkelige til at lave et landsdækkende sæt af dynamiske korrekationsværdier egnet til brug på oplandskala med en tidsopløsning på månedsbasis eller finere.

Den generelle konklusion er derfor, at de dynamiske korrekationsfaktorer bygger på et for spinkelt datagrundlag. I forbindelse med DK-modellen blev i stedet anvendt en fast nedbørs-korrekation for hele landet, baseret på håndtal 1961-90.

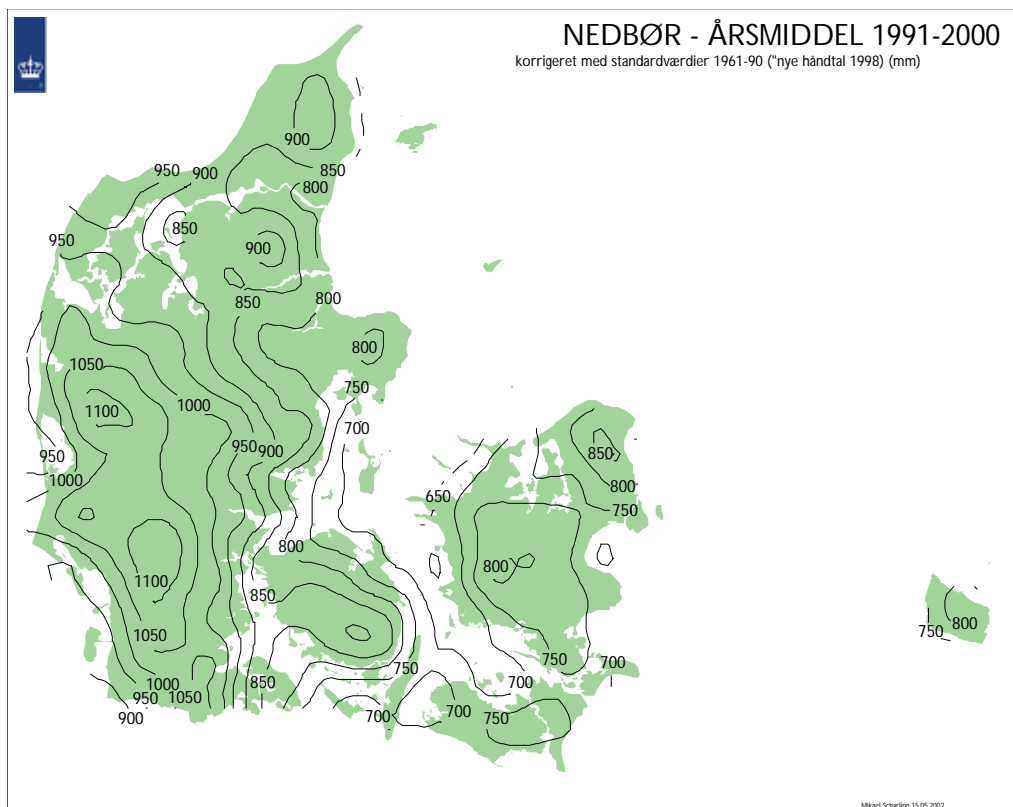


Figur 7.4 Placering af manuelle nedbørsstationer, synopstationer og 12 klimastationer som ved hjælp af Thiessen polygoner udgøre grundlaget for dynamiske nedbørskorrekationer (Vejen et al., 2000).

### 7.3.1 Regionale variationer i årsnedbør 1991-2000

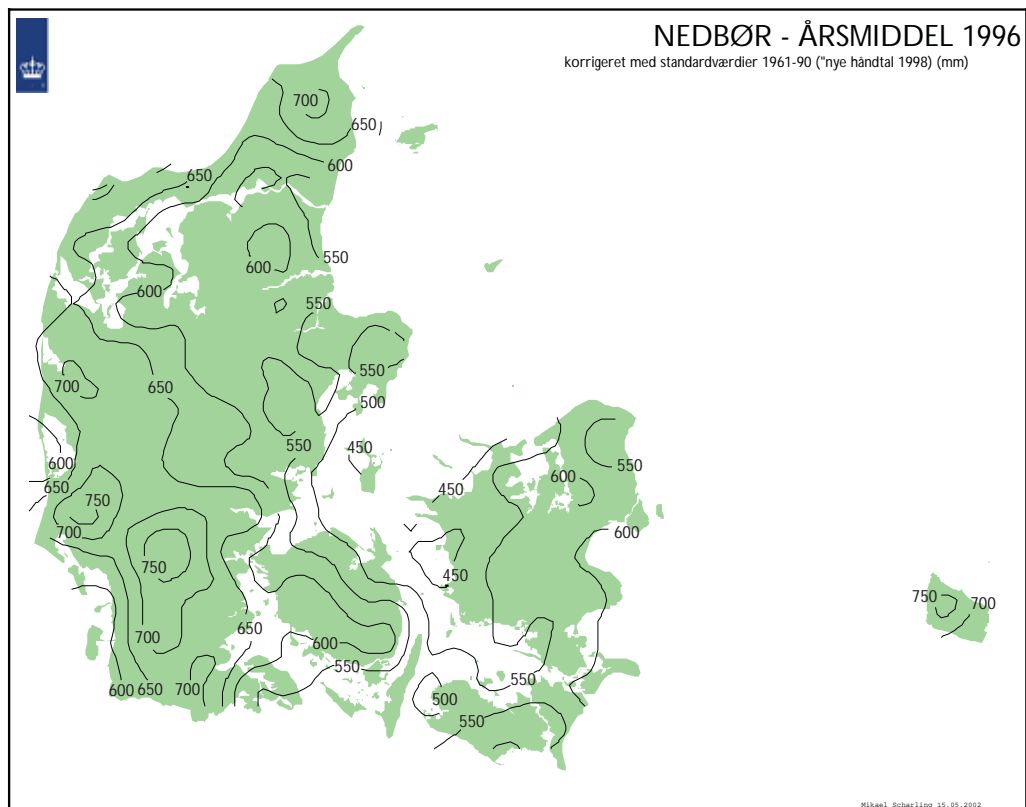
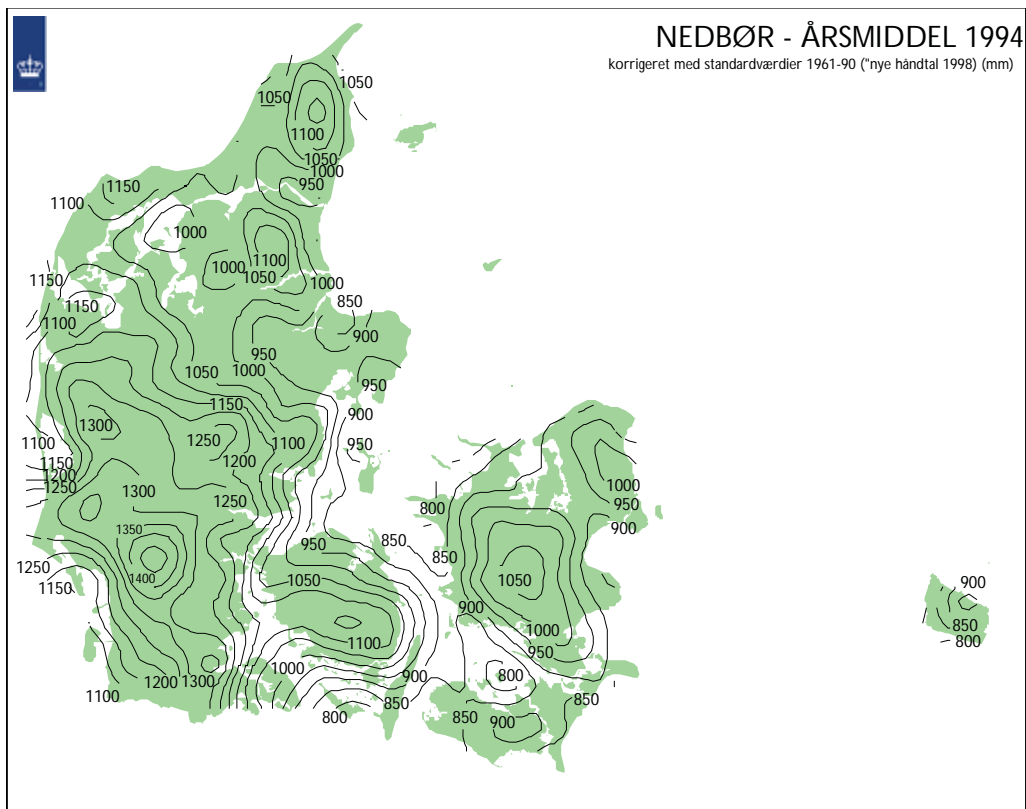
Den korrigerede nedbør for perioden 1991-2000 er vist i figur 7.5 (korrigeret med håndtal ud fra perioden 1961-90).

Nedbøren er for perioden 1991-2000 størst i Sydvestjylland (ca. 1100 mm/år) og mindst på øerne, med ca. 650-700 mm/år omkring Sejerøbugten, Storebælt, Møn og det vestlige Lolland. Den centrale del af Sjælland har nedbør over 750 mm/år, mens Nordsjælland visse steder har en nedbør på over 850 mm/år. Århus og Odense og den østlige del af Bornholm har en nedbør omkring 800 mm/år. For de højtliggende dele af Sydfyn er nedbøren ca. 900 mm/år.



Figur 7.5 Regional fordeling af observeret nedbør (1991-2000), udarbejdet på baggrund af Scharling & Kern-Hansen 2002

For et tørt år som 1996 ser tallene noget anderledes ud, selvom den regionale tendens i store træk er den samme (dog ikke for Bornholm, som ikke havde en speciel lav nedbør i 1996). Nedbøren er for 1996 størst i Sydvestjylland (ca. 750 mm/år) og mindst på øerne, med ca. 450-500 mm/år omkring Sejerøbugten, Storebælt, Møn og det vestlige Lolland. Den centrale del af Sjælland har nedbør over 500 mm/år, mens Nordsjælland visse steder har en nedbør på over 550 mm/år. Århus og Odense har en nedbør omkring 550 mm/år, hvorimod Bornholm har en nedbør på 750 mm/år. For de højtliggende dele af Sydfyn er nedbøren ca. 600 mm/år (se figur 7.6). For det våde år 1994 ses stor nedbør over 1400 mm/år for dele af Jylland, og centrale dele af Fyn og Sjælland har her en årsnedbør over 1000 mm/år. Mindste nedbør havde dele af Sjælland (Kalundborg) med ca. 800 mm/år.

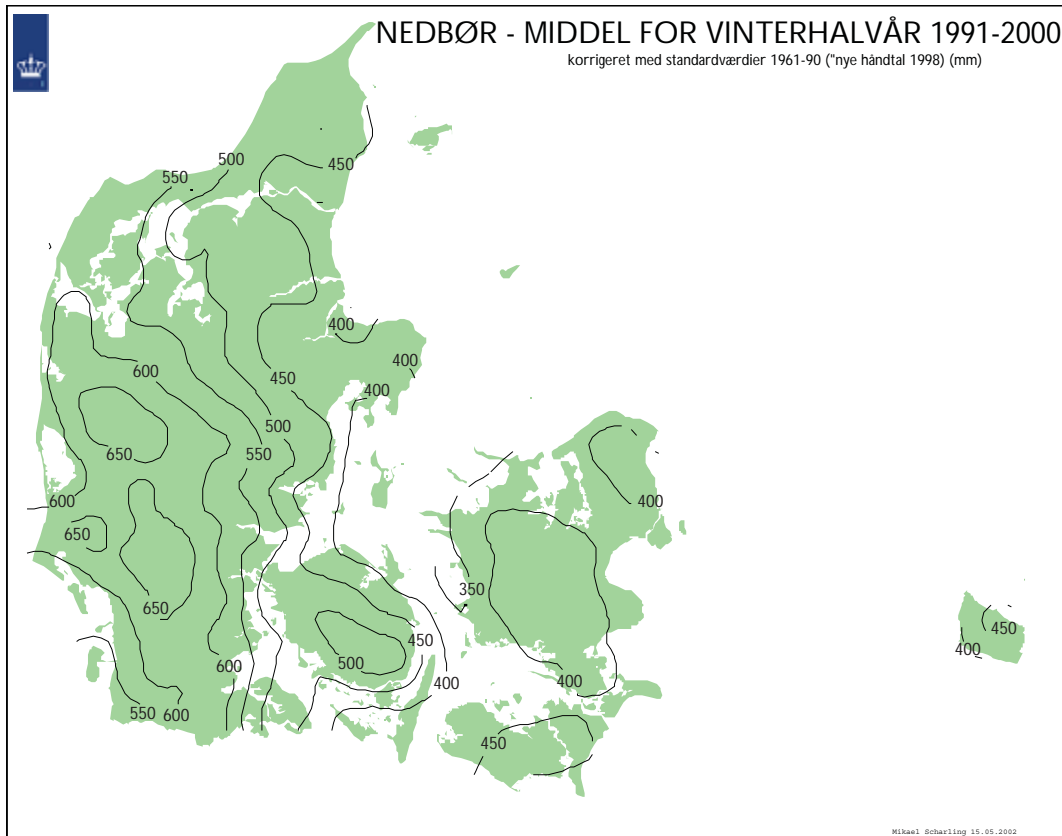


Figur 7.6 Korrigeret nedbør (nye håndtal) for det vådeste år (1994) og det tørreste år (1996) i perioden 1991-2000, udarbejdet på baggrund af Scharling & Kern-Hansen 2002



### 7.3.2 Regionale forskelle i vinternedbør

En god indikator for grundvandsdannelsen er vinternedbøren fra 1. oktober til 31. marts, idet nedbøren i denne periode er dominerende i forhold til fordampningen. Herved fås et billede på den regionale variation i grundvandsdannelsen, se figur 7.7. Vinternedbøren ligger mellem 350-650 mm/år (fordampning ca. 90 mm for den tilsvarende perioden baseret på Makkink).

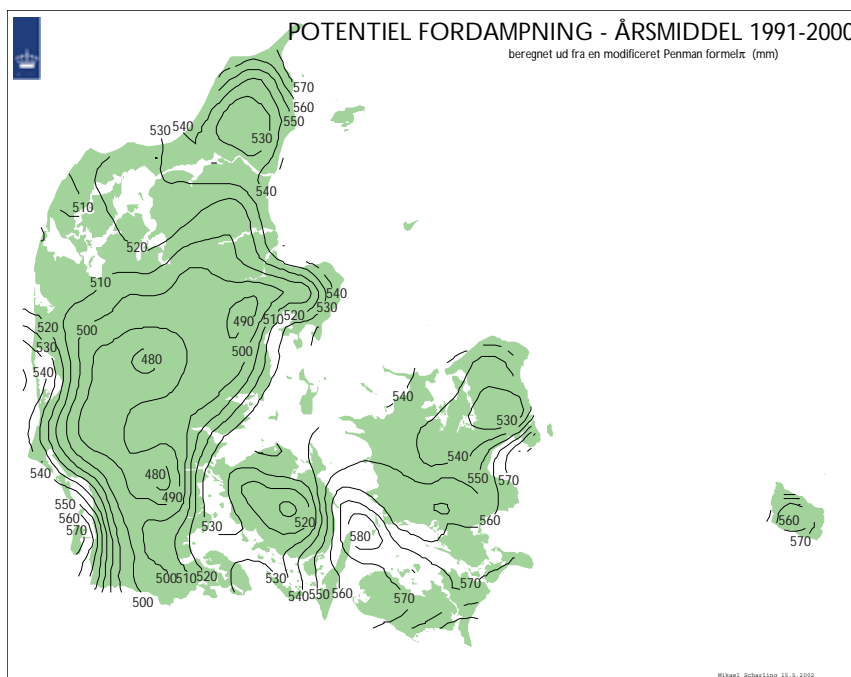


Figur 7.7 Vinternedbør 01.10-31.10 for perioden 1991-2000 (nye håndtal).

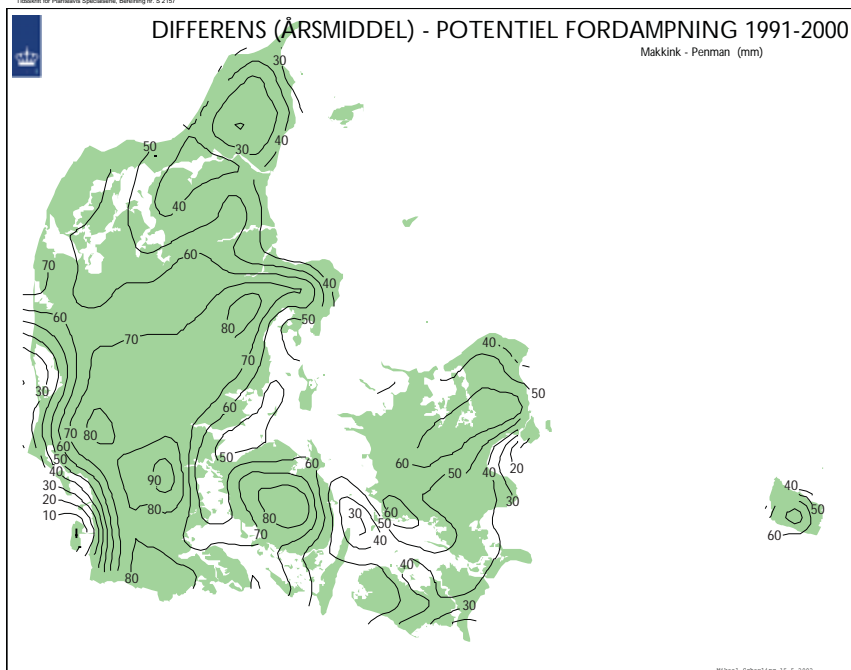
For Sjælland er der således en overskudsnedbør på ca. 300 mm/år i vinterhalvåret. Dette tal er ca. 50 mm/år større end den beregnede nettonedbør med DK-modellens rodzonemodul. For Midt- og Vestjylland er vinternedbøren på 500-550 mm/år. Østjylland har en vinternedbør omkring 350-450 mm/år. Fyn 300-400 mm/år.

## 7.4 Regionale forskelle i reference fordampning

I figur 7.8 er vist den regionale fordeling i Makkink fordampningen og forskellen mellem Makkink og modificeret Penman fordampning for 1991-2000.



Formel [26] i Mikkelson, H.E. & Olesen, J.E. (1991) "Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel fordampning", Landbrugsteknisk, Statens Pflanzeforsøg, Tidsskrift for Pflanzers Specialarbejde, Serie nr. 9 2157

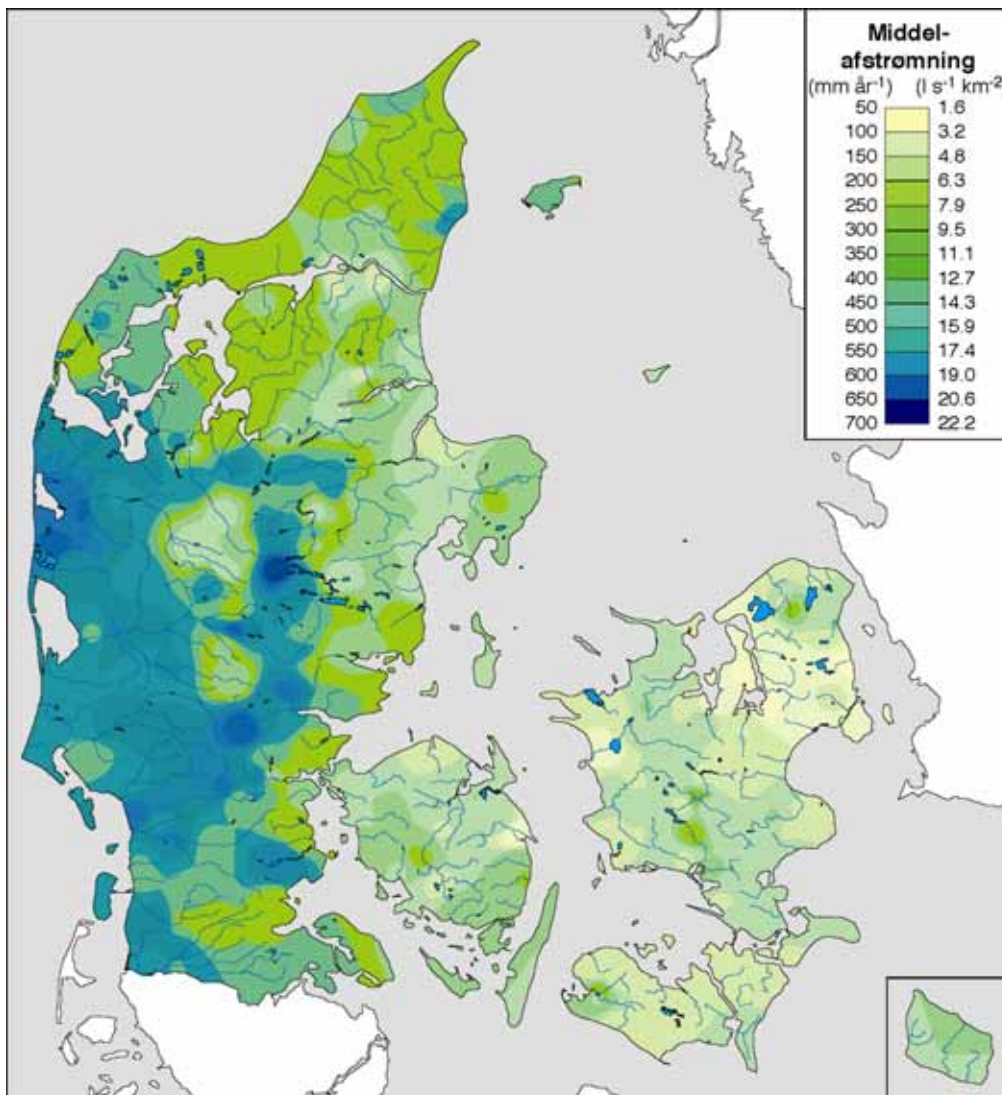


Figur 7.8 Øverst: Regional fordeling i referencefordampning (modificeret Penman)  
Nederst: Forskel mellem Makkink fordampning og modificeret Penman fordampning, udarbejdet på baggrund af Scharling & Kern-Hansen 2002

## 7.5 Regionale forskelle i afstrømning

### 7.5.1 Årsafstrømning

For Danmark som gennemsnit er den årlige middelaflstrømning ca. 10 l/s km<sup>2</sup>, svarende til ca. 320 mm/år. I de østlige dele af landet ligger middelaflstrømningen omkring 200 mm/år, og i nogle delområder er den kun 100 mm/år. I de vestlige dele af landet er middelaflstrømningen omkring 400 mm/år, i dele af Midt- og Sydjylland dog helt op til omkring 600 mm/år visse steder (figur 7.9).

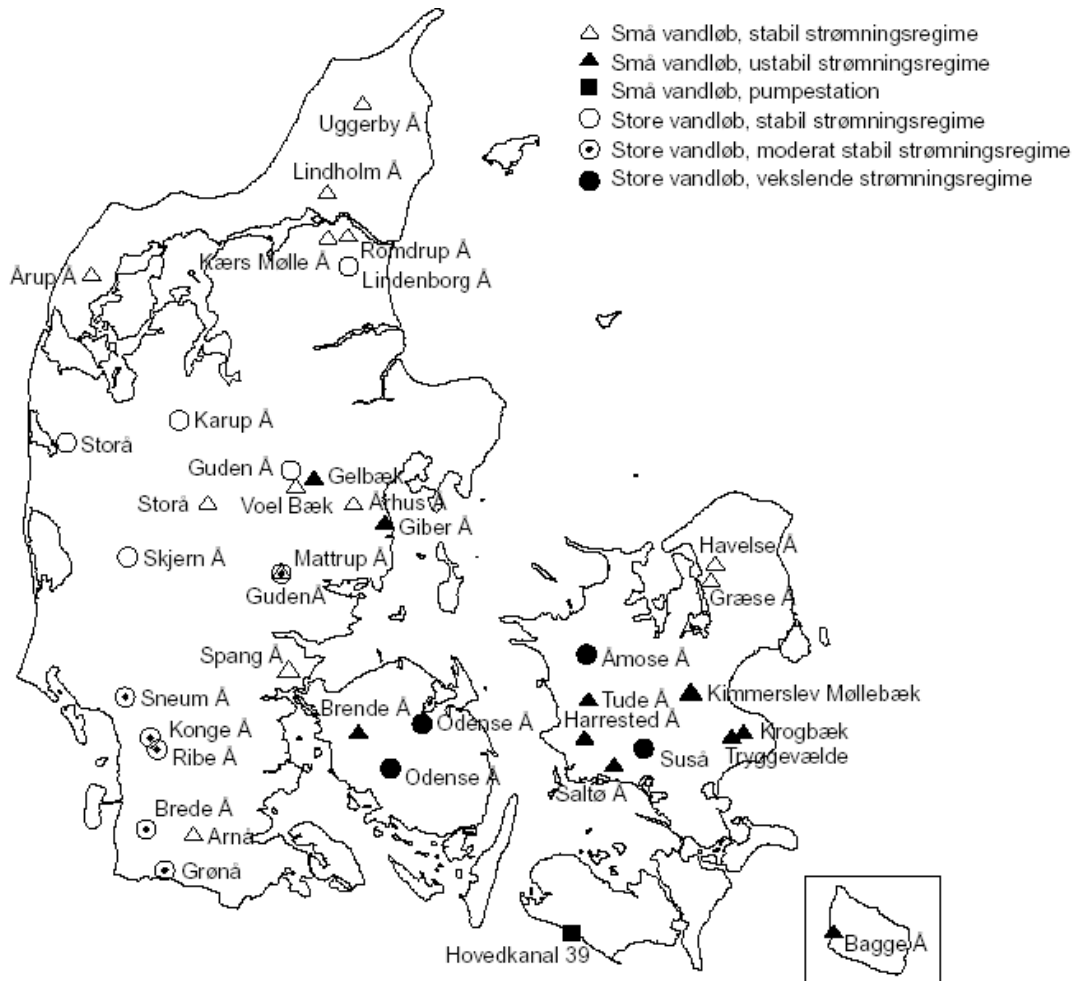


Figur 7.9 Årsmiddelaflstrømning for perioden 1971-98 baseret på data fra 243 målestationer (Ovesen et al., 2000).

De regionale forskelle i afstrømningsmængderne er i første række betinget af forskelle i nedbør, fordampning og hydrogeologi (topografi, jordbundsforhold og geologi), idet eksempelvis grundvandsafstrømning på tværs af de topografiske oplande, er med til at definere regionale ind- og udstrømningsområder. Den mindre afstrømning i fx øvre dele af Karup å og Storå, i forhold til omkringliggende oplande med større afstrømning, er et eksempel herpå. I anden række har vandindvinding og afledning af fx spildevand eller regnvand direkte til hav, betydning for afstrømningens størrelse (f.eks. i Københavnsområdet hvor en stor del af nettonedbøren bortledes til renseanlæg fx Lynetten).

## 7.5.2 Hydrologiske regimer

DMU har i Ovesen et al. (2000) gennemført cluster analyser på 39 stationer for at få indikation af hvilke vandløb, der ligner hinanden med hensyn til hydrologisk regime. I analysen indgik både store (oplande > ca. 200 km<sup>2</sup>) og små vandløb (oplande < ca. 200 km<sup>2</sup>), se figur 7.10.



Figur 7.10 Strømningsregimer i Danmark (Ovesen et al., 2000)

	Små vandløb	
	Stabilt strømningssystem (primært vestdanske vandløb)	Ustabilt strømningssystem (primært østdanske vandløb)
Topografisk opland	82 km <sup>2</sup>	59 km <sup>2</sup>
Middelvandføring	717 l s <sup>-1</sup>	406 l s <sup>-1</sup>
Frekvens af overskridelse af 7 gange medianvandføring (Fre7)	1,4 gange pr. år	4,9 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af mere end 7 gange medianvandføring (dur7)	1,9 døgn	6,5 døgn
Frekvens af underskridelse af medianminimum	2,2 gange pr. år	2,2 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af underskridelse af medianminimum	10,1 døgn	6,7 døgn
Medianmaksimum divideret med medianvandføring	6,7	18,8
Medianminimum divideret med medianvandføring	0,38	0,12
Forudsigelighed (PRE)	0,65	0,47

Tabel 7.2 Strømningsøkologiske parametre i små vandløb med henholdsvis stabilt og ustabilit strømningssystem for vest- og østdanske vandløb (Ovesen et al., 2000).

Frekvensen af høje og lave afstrømningshændelser og varigheden af høje afstrømningshændelser er størst i de små vandløb (se tabel 7.2). Små vandløb med stabilt regime ligger fortrinsvis i Jylland, mens vandløb med et ustabilit regime fortrinsvis ligger på øerne.

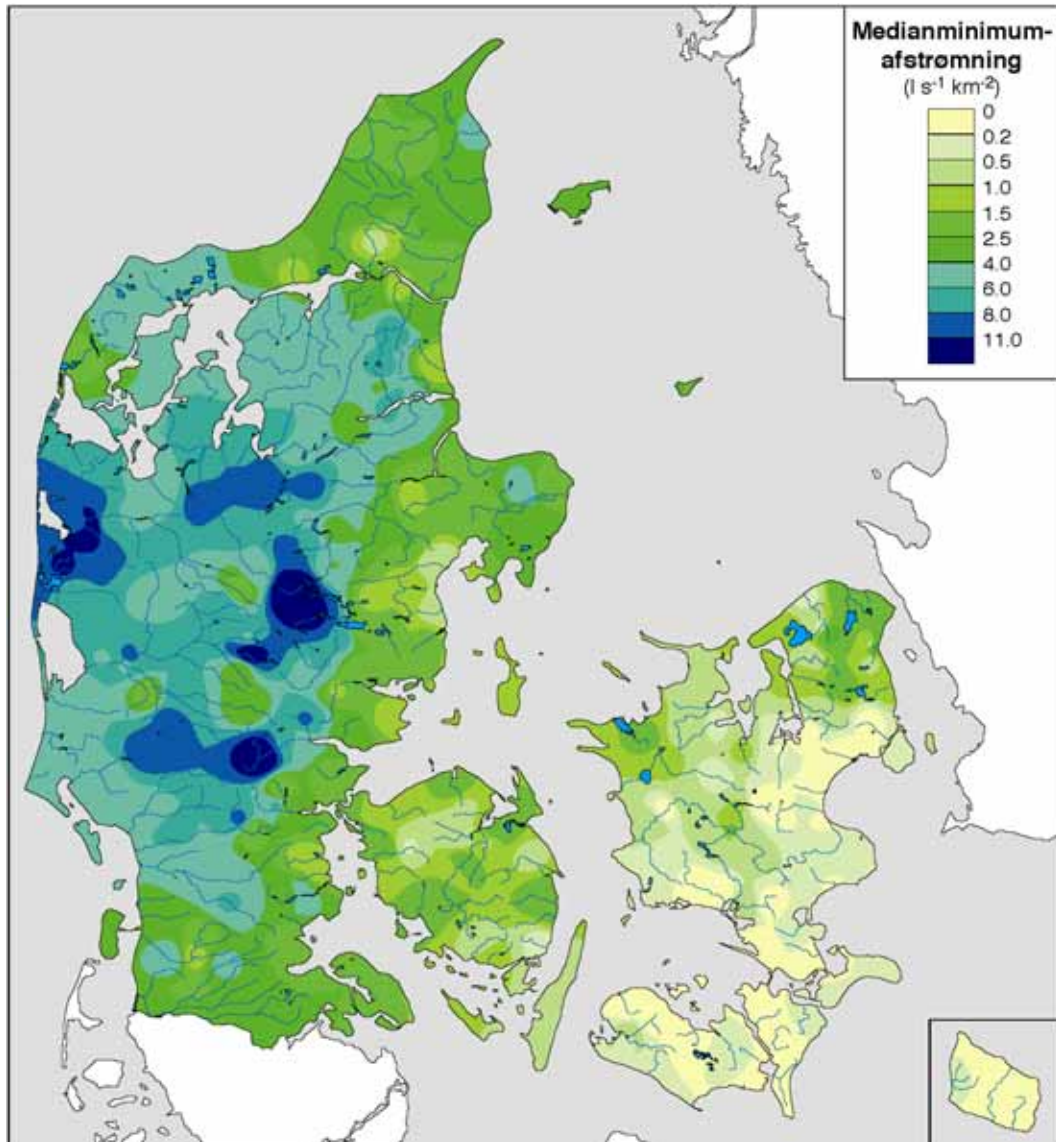
	(Nordvestlige Jylland)	(Midt og sydlige Jylland)	(Øerne)
Topografisk opland	834 km <sup>2</sup>	394 km <sup>2</sup>	473 km <sup>2</sup>
Middelvandføring	11,3 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	5,4 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	4,1 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Frekvens af overskridelse af 7 gange medianvandføring (Fre7)	0 gange pr. år	0,2 gange pr. år	1,5 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af mere end 7 gange medianvandføring (dur7)	0 døgn	1,1 døgn	6,7 døgn
Frekvens af underskridelse af medianminimum	2,1 gange pr. år	1,5 gange pr. år	2,2 gange pr. år
Gennemsnitlig varighed af underskridelse af medianminimum	10,1 døgn	13,0 døgn	6,3 døgn
Medianmaksimum divideret med medianvandføring	2,7	5	7,7
Medianminimum divideret med medianvandføring	0,61	0,41	0,25
Forudsigelighed (PRE)	0,77	0,70	0,59

Tabel 7.3 Strømningsøkologiske parametre i store vandløb i Nordvestjylland, Midt- og Sydjylland og på Øerne (Ovesen et al., 2000).

Gruppering af vandløb i forhold til de økologiske parametre viser ikke overraskende, at der er store forskelle mellem strømningssystemene i østlige og vestlige Danmark.

## 7.5.2 Medianminimumsafstrømning

Den regionale variation i medianminimumsafstrømningen er vist i figur 7.11.



Figur 7.11 Medianminimumsafstrømning i Danmark (Ovesen et al., 2000)

Store dele af Midt- og Vestjylland har medianminimumsafstrømning  $> 4 \text{ l/s km}^2$  ( $\sim 125 \text{ mm/år}$ ), hvorimod store dele af øerne har værdier under  $1 \text{ l/s km}^2$  ( $\sim 30 \text{ mm/år}$ ). De hydrogeologiske forhold og vandindvindning har stor indflydelse på den regionale variation i medianminimumsafstrømningen. Det regionale grundvandsafstrømning går ofte på tværs af de topografisk opland (oplandsgrænser til fx vandløb). Langs den midtjyske højderyg ses flere områder, hvor der foregår "grundvandstyveri" på tværs af de topografiske oplandsgrænser (fx fra den øvre del af Storå og Karup å i Vestjylland til Funder å i Østjylland). Disse forhold har betydning for randbetingelser til grundvandsmodellen, som behandles nærmere i næste

kapitel. Et andet markant træk er den betydelige grundvandsafstrømning omkring Nissum Fjord, som tilsyneladende udgør et større regionalt udstrømningsområde.

## 7.6 Korrektionsfaktorer på nettonedbør bestemt ud fra DK-model

DK-modellen kalibreres og valideres i forhold til trykniveau i grundvand og afstrømning ved udvalgte vandføringsstationer.

I forbindelse med kalibrering og validering anvendes en række performanceindikatorer (Henriksen, 2001) bl.a.  $R^2$ , RMS og en vandbalanceindikator ( $F_{Bal}$ ), se kapitel 7.

Ud fra denne vandbalanceindikator for udvalgte vandføringsstationsoplande kan der beregnes en korrektionsfaktor på nettonedbøren ( $F_{Bal}$ , se tabel 7.3 nedenfor), som indebærer at simuleret og målt afstrømning "balancerer" (Plauborg et al., 2002).

I praksis gennemføres herefter en valideringstest, hvor daglig nettonedbør multipliceres med  $F_{Bal}$  og det vurderes om nøjagtighedskriterier kan opfyldes. Dette er vist for Sjælland (Henriksen, 2001).

De viste tal fra Plauborg et al. (2002) over korrektion af nettonedbør på basis af DK-model er nedenfor angivet i tabel 7.4 på basis af resultatet ud fra beregninger for Sjælland og Jylland. Modellen for Bornholm er endnu ikke færdigkalibreret.

DK-DELMODEL	Opland km <sup>2</sup>	"Valideret korrektionsfaktor" $F_{Bal}$	Nettonedbør $F_{Bal} * N-EA$ , excl. Overfladisk afst. mm/år	Vandbalance Fejl mm/år
1. FYN	2945	0.75	248	ca. 83
2. VESTSJÆLLAND	3281	0.77	215	ca. 64
3. SYDSJÆLLAND	3207	0.75	198	ca. 66
4. NORDSJÆLLAND	2831	0.71	212	ca. 87
5. SØNDERJYLLAND	4500	1.00	535	0
6. SYDVESTJYLLAND	5263	0.90	546	ca. 61
7. SYDØSTJYLLAND	4705	0.84	357	ca. 68
8. VESTJYLLAND	5291	1.12	591	- ca. 63
9. ØSTJYLLAND	4418	0.93	348	ca. 26
10. NORDJYLLAND	5478	0.90	379	ca. 42
11. BORNHOLM		Ikke valideret	290	Ikke valideret
HELE LANDET ("1-10")	41919	-	390	-

Tabel 7.4 Resultater på korrektionsfaktorer fra DK-model

Det fremgår af tabel 7.4 at nettonedbøren (nedsivning til rodzonen) for område 1-10 (som udgør ca. 97 % af Danmarks samlede areal) i gennemsnit udgør 390 mm/år for perioden 1991-2000. Den samlede "ferskvandsressource" som er i kontakt med grundvand udgør dermed ca. 16 mia. m<sup>3</sup>/år (Vandrådet vurderede i 1992 denne størrelse til 12 mia. m<sup>3</sup>/år). Den udnyttelige andel, udgør dog som vi har set i kapitel 3, en brøkdel heraf.

Resultaterne i tabel 7.4 er baseret på en vandbalancefejl som for de fleste oplande udgør mellem 60 og 80 mm/år. For de to sidste deloplande, Østjylland og Nordjylland, ses lidt mindre vandbalancefejl (forventet i størrelsesordenen ca. 30-40 mm/år). To oplande skiller sig imidlertid ud, dels Sønderjylland (samlet korrektion = 0) og dels Vestjylland (Thy+Storå+Karup å), hvor modellen viser at nettonedbøren skal korrigeres op. I de to sidstnævnte oplande er der dog modstridende resultater indenfor deloplandet. Således giver Vidå i Sønderjylland et resultat på ca. 1.1, mens Ribe og Brede å, giver en korrektion på omkring 0.90. Samme tendens ses for Thy og vestlige del af Storåen (stor positiv korrektion).

Disse resultater indikerer, at der måske er en væsentlig geografisk variation, som ikke afspejles i Thiesen polygonerne (figur 7.4), som var baggrunden for forsøgene med interpolation af de dynamiske, månedlige korrektionsfaktorer. Hypotesen kunne her være, at der er tale om en "kystnær effekt", som er tydelig for den ene nedbørsstation (Thy), men ikke er udtalt ved de øvrige 11 stationer, der indgik i projektet (7.4).

Tilbage er der at forklare forskellen på 60-80 mm/år i vandbalancen for de fleste oplande, og de ca. 30 mm/år for Nordjylland, som resultaterne fra DK-model har vist. Denne forskel, må udover en evt. forklaring som fremhævet ovenfor omkring nedbørskorrektionen, skulle forklares med en årsag i anvendelsen af reference fordampning baseret på Penman, i stedet for den anbefalede brug af Makkink (jf. Plauborg et al., 2002).

Forskellen på aktuel fordampning mellem Modifieret Penman og Makkink (\* afgrødekoef. Faktor), udgør jf. nedenstående afsnit 7.7 følgende størrelser:

(mm/år)	Makkink	Mod. Penman	Forskel
Odense å	452	428	24
Suså	470	446	24
Åmose å	478	446	12
Omme å	474	427	47
Skjern å	476	444	22
Uggerby å	452	426	26
Elling å	459	434	28
Lindborg å	482	456	26

Disse resultater indikerer ikke nogen tydelig regional variation i fejlen der skyldes fordampningen (modifieret Penman), men resultaterne kan dog være med til at forklare, hvorfor der generelt i mange oplande er en forskel på 60-80 mm/år.

En mulig forklaring må derfor enten søges i nedbørskorrektionen (den regionale variation der afspejles på figur 7.3), og som ikke er repræsenteret i "håndtallene", eller i systematiske fejl, som skyldes parameteriseringen af det simple rodzonemodul. Der er anvendt en meget simpel parameterisering med tre forskellige rodzonedybder (sand = 70 mm/år, ler = 140 mm/år og skov = 150 mm/år), uafhængigt af "jordtypen". Denne antagelse er muligvis lidt grov, og kunne evt. være en medvirkende forklaring på den resterende vandbalancefejl. Rodzonemodulet er sammenlignet med bl.a. Evacrop for moræneler på Als og med Daisy for moræneler på Sjælland, uden at der er påvist væsentlige fejl (Plauborg et al., 2002).



Resultater fra bl.a. Tude å (Rambøll, 2002) har vist, at anvendelse af rodzone/umættet zone modul med brug af fx fuld Richards ligning, i stedet for forenklet løsning i MIKE SHE, kan give ca. 40-45 mm/år større fordampning. DK-modellens rodzonemodul er "løst koblet" med grundvandsmodulet, således at vandet smides videre, uden mulighed for merfordampning, fx i områder med grundvandspejl tæt på terræn. Sådanne områder håndteres i DK-model i stedet som "vådområder", dvs. med reference fordampning året rundt. Dette forhold kan også, udover en forklaring omkring parameterfastsættelsen i rodzonemodulet, være en forklaring på ovenstående forskel.

Regionale variationer i nettonedbøren for perioden 1991-2000 i forhold til en længere år-række, kan vurderes på baggrund af afstrømningsdata fra udvalgte oplande. I tabel 7.5 er tal for stationer angivet:

DMU stnr	DDH må- lest.nr	DDH stednr	Vandløb	Opland km <sup>2</sup>	1991-	1971-	1961-	1991-	1971-	1961-
					2000 Middel l/s km <sup>2</sup>	2000 Middel l/s km <sup>2</sup>	1990 Middel l/s km <sup>2</sup>	2000 Middel mm	2000 Middel Mm	1990 Middel mm
30003	03.01	30130	Uggerby å, Astedbro	152,98	10,43	10,2	10,23	329	322	323
110016	11.02	110088	Årup å, Årup	105	12,88	13,11	13,32	406	413	420
140022	14.01	140096	Lindborg å, Lindborg bro	213,84	11,02	10,78	10,95	348	340	345
210084	21.01	210882	Gudenå, Tvilumbro	1282,42	13,34	13,02	12,85	421	411	405
210085	21.02	210884	Gudenå, Åstedbro	184,48	15,14	14,82	14,46	477	467	456
250082	25.05	250633	Skjern å, Alergård	1054,58	15	14,92	14,98	473	471	472
260082	26.01	260066	Århus å, ved Skibby	118,64	8,62	8,39	8,15	272	265	257
380024	38.01	380082	Ribe å, v. Stavnager bro	675,4	14,24	14,26	14,13	449	450	446
400024	40.06	400028	Brede å, Bredebro (fdc)	290,04	13,32	13,66	13,86	420	431	437
450004	45.01	450002	Odense å, Nørre broby (st 35.80)	301,61	10,16	9,73	9,8	320	307	309
460030	46.01	460001	Brende å, Årup	70,89	8,41	8,78	9,09	265	277	287
550018	55.01	550073	Åmose å, Bromølle	292,07	7,21	7,08	6,97	227	223	220
560007	56.06	560113	Tudeå, Ørslev	147,97	6,64	6,35	6,15	209	200	194
570058	57.12	570258	Suså, s.f.Holløse bro	763,28	7,89	7,71	7,74	249	243	244
590006	59.01	590119	Tryggevejle å, v. Ll. Linde	129,22	7,42	7,22	7,07	234	228	223
<b>Middel alle stationer</b>								<b>340</b>	<b>336</b>	<b>336</b>

Tabel 7.5 Regionale forskelle i afstrømning for udvalgte perioder: 1991-2000, 1971-2000 og 1961-1990 (Kilde: DMU)

Bedømt ud fra afstrømningsdata, er der ikke nogen stor forskel på periodemidler. Den faktuelle nettonedbør har derfor antageligt været af samme størrelse for ovenstående perioder. Det betyder at tallene for 1991-2000 er repræsentative, også for en længerevarende periode. Dette er dog ikke ensbetydende med at der ikke kan være en trend i klimaet, en forklaring kunne jo være at både nedbør og fordampning har været stigende (jf. kapitel 6).

## 7.7 Betydning af forskellige antagelser vedr. nedbørskorrektion og fordampning, for vandbalancen.

Den regionale variation i nedbør, fordampning og afstrømning kan vurderes ved opstilling af vandbalancer for f.eks. vandløbsoplande. I tabel 7.5 er vist et sådant eksempel for 8 vandløbsoplande (beregninger foretaget af DMU). Der er i tabellen foretaget beregning af reference fordampning (potentiell fordampning) og aktuel fordampning med forskellige antagelser om reference fordampning (Makkink\*faktor: korrigeret med en overfladekoefficient for de enkelte vegetationstyper, Makkink og modificeret Penman). Nedbøren er korrigeret svarende til nye "håndtal" fra DMI opstillet ud fra data for perioden 1961-90.

	Odense Å	Susåen	Åmose Å	Omme Å	Skjern Å	Uggerby Å	Elling Å	Lindemborg Å
Oplandsareal (km <sup>2</sup> )	535	763	292	500	1558	347	123	318
<i>Reference fordampning</i>								
E <sub>p</sub> , Makkink*faktor	635	629	626	601	594	608	607	604
E <sub>p</sub> , Makkink	604	597	595	571	564	577	576	574
E <sub>p</sub> , mod. Penman	553	558	563	495	499	526	525	517
<i>Vandbalance (mm)</i>								
Nedbør	782	723	714	989	963	774	777	792
Vandløbsafstrømning	303	243	213	432	486	310	310	325
<i>Aktuel fordampning</i>								
E <sub>a</sub> , Makkink*faktor	452	470	478	474	476	452	459	482
E <sub>a</sub> , Makkink	448	464	472	471	474	448	455	478
E <sub>a</sub> Mod. Penman	428	446	460	427	444	426	434	456

Tabel 7.6 Opstillede vandbalancer for vandløbsoplande (kilde: Blicher-Mathiesen og Andersen, 2002 og Plauborg et al., 2002) for perioden 1991-97.

Tabel 7.6 giver et bud på nettonedbøren hvorimod opgørelsen ikke har den store værdi med henblik på en vurdering af den samlede vandbalance, idet udveksling med grundvandssystemet ikke er detaljeret beskrevet, herunder evt. underjordisk grundvandsafstrømning på tværs af det topografiske opland.

## 7.8 Skalaforhold og opgradering af inddata til DK-model

Det vurderes at anvendelse af et 20x20 eller evt. 10x10 km grid ville give en bedre beskrivelse af både nedbør og fordampning, men samtidig kræve mere arbejde med datahåndtering. Der er områder, hvor 40x40 km gridet er for groft. Problemet er mest udtalt op gennem Jylland, men antages ikke at have nogen direkte betydning for opgørelsen af den samlede udnyttelige ressource.

Det virker oplagt at pege på behovet for anvendelse af de nye anbefalinger jf. Plauborg et al. (2002), i fremtidige beregninger med DK-modellen, og en yderligere test af disse data's kvalitet, i forhold til de anvendte referencefordampninger baseret på modificeret Penman. Det vurderes, at det vil kræve en "rekalibrering", eller som minimum, gentagelse af valide

ringstests, såfremt de nye anbefalinger indarbejdes i inddata til DK-model. Det er ikke sikkert, at dynamikken repræsenteres lige så godt i Makkink tallene, men det bør som sagt afprøves nærmere.

Der er behov for fortsat at sammenstille resultater fra DK-model med andre undersøgelser der er på vej eller allerede foreligger. Mange af de helt nye undersøgelser, fx baseret på Daisy/MIKE SHE model for Fyn og Århus området (DHI), for blot at nævne et par enkelte, er baseret på de nye anbefalinger, bl.a. Makkink, og kan derfor indgå i sammenligninger.

## 7.9 Referencer

- Blicher-Mathiesen, G. og Andersen, H.E. (2002) *Overskud i vandbalancer*. Vand & Jord, 9. årgang, nr. 2, maj 2002.
- Lyshede, J.M. (1955) *Hydrologic studies of danish watercourses*. København. Bianco Lunos Bogtrykkeri A/S. Meddelelser fra det Danske Hedeselskabs Kulturtekniske Afdelings Hydrometriske Undersøgelser.
- Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I., Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, P.M. (2001) *Afstrømningsforhold i danske vandløb*. Faglig rapport fra DMU, nr. 340. Fagdatacenter for hydrometri.
- Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Blicher-Mathiesen og C.Kern-Hansen (2002) *Vandbalance på mark- og oplandsskala*. DJF rapport. Nr. 70. Markbrug. April 2002.
- Scharling, M. (1999a): Klimagrid Danmark - Nedbør 10x10 km (ver. 2) - metodebeskrivelse. DMI Technical Report 99-15
- Scharling, M. (1999b): Klimagrid Danmark - Nedbør, lufttemperatur og potentiel fordampning 20x20 & 40x40 km - metodebeskrivelse. DMI Technical Report 99-12
- Scharling, Mikael & Claus Kern-Hansen (2002): Klimagrid-Danmark. Nedbør og Fordampning 1990-2000, Beregningsresultater til belysning af vandbalancen i Danmark. DMI Danmarks Meteorologiske Institut, Teknik Rapport 02-03.
- Vejen F., Allerup P., Madsen H. (1998): Korrektion for fejlkilder af daglig nedbørmålinger i Danmark. DMI Technical Report 98-9
- Vejen F., Madsen H, Allerup P., (2000): Korrektion for fejlkilder på måling af nedbør. Korrektionsprocenter ved udvalgte stationer 1989-1999. Danmarks Meteorologiske Institut, Teknisk Rapport 00-20
- Vejen F., Madsen H, Allerup P., (2001): Korrektion for fejlkilder på måling af nedbør. Korrektionsprocenter ved udvalgte stationer i 2000. Danmarks Meteorologiske Institut, Teknisk Rapport 01-09