



Dmi

Klima,- Energi- og Bygningsministeriet

Danmarks Klimacenter rapport 13-02

Beregning af klimafaktorer for døgn- og timenedbør i Danmark i et forandret klima

Ole Bøssing Christensen



Kolofon

Serietitel:

Danmarks Klimacenter rapport

Titel:

Beregning af klimafaktorer for døgn- og timenedbør i Danmark i et forandret klima

Undertitel:

Forfatter(e):

Ole Bøssing Christensen

Andre bidragsydere:

Katrine Krogh Andersen

Ansvarlig institution:

Danmarks Meteorologiske Institut

Sprog:

Dansk

Emneord:

Url:

www.dmi.dk/dmi/dkc13-02

Digital ISBN:

978-87-7478-626-9

ISSN:

1399-1957

Versions dato:

Link til hjemmeside:

www.dmi.dk

Copyright:

Danmarks Meteorologiske Institut



Indhold:

Abstract	4
Resumé.....	4
Detaljeret gennemgang	6
Referencer	11
Tidligere rapporter	11



Abstract

In connection with the new departmental order on waste water permission in 2013, climate factors for precipitation for the period 2021-2050 must be estimated, as a tool towards taking anthropogenic climate change into account when planning waste water treatment plants. Such a study has been performed at the DMI for the Danish Nature Agency and will be described here, though only in Danish language. The factors have been calculated in comparison to the period 1961-1990. DMI assumes no responsibility for interpretation and use of the present data.

The climate factors have been calculated based on a number of numerical climate change simulations for the IPCC SRES A1B scenario (Nakićenović et al., 2000). Daily precipitation from 13 simulations from the EU FP6 ENSEMBLES project have been analysed and compared to hourly precipitation from three of these. Median results for the two durations result in climate factors for daily precipitation of 1.09; 1.10; 1.10; 1.11 and 1.11 for return periods 5; 10; 20; 50 and 100 years. The corresponding factors for hourly precipitation are 1.11; 1.14; 1.15; 1.17 and 1.18. As the three simulations where hourly precipitation was available have slightly lower climate factors for daily precipitation than the entire set of simulations, it is probable that an analysis of hourly precipitation for the entire set of simulations would result in slightly higher factors than for the three, which were available.

A more thorough comparison of different durations can be found in Arnbjerg-Nielsen (2008), also in Danish. However, that analysis has investigated the end of the century and is based on just one climate simulation for the IPCC SRES A2 scenario, which by the end of this century exhibits larger climate change than A1B, which is analysed presently. That analysis has therefore not been able to estimate model related uncertainty of the results, as it has been done here. There is also a considerably larger statistical uncertainty on those results than on the presently presented, for the 3 simulations with hourly precipitation as well as for the 13 simulations with daily precipitation; it is therefore considered that the present results are more robust, particularly for daily precipitation. The results for the end of this century in the report from 2008 are larger than provisional figures for that period presented in this report.

Resumé

I forbindelse med den nye bekendtgørelse i 2013 om spildevandstilladelser skal der beregnes klimafaktorer for nedbør for perioden 2021-2050 som en måde, hvorpå de forventede menneskeskabte klimaændringer kan tages i betragtning ved dimensionering af spildevandsanlæg. Et sådant arbejde er udført ved DMI for Naturstyrelsen og beskrives her. Faktorerne er beregnet i forhold til perioden 1961-1990. DMI fralægger sig ansvar for tolkning og anvendelse af data.

Klimafaktorerne er beregnet ud fra en række klimasimuleringer for IPCCs A1B scenarie (Nakićenović et al., 2000). Døgnedbør fra 13 simuleringer fra ENSEMBLES-projektet er blevet analyseret og sammenlignet med timenedbør fra tre af disse. Medianresultater for de to varigheder viser klimafaktorer for døgnedbør på 1,09; 1,10; 1,10; 1,11 og 1,11 for gentagelsesperioderne 5; 10; 20; 50 og 100 år. De tilsvarende faktorer for timenedbør er 1,11; 1,14; 1,15; 1,17 og 1,18. Da de tre simuleringer, hvor timenedbør var tilgængelig, har lidt lavere klimafaktorer for døgnedbør end hele sættet af simuleringer har, er det sandsynligt, at en analyse af timenedbør for hele sættet ville give lidt højere faktorer end for de tre, der var til rådighed.

En mere dybtgående sammenligning af forskellige varigheder findes i Arnbjerg-Nielsen (2008).

Denne analyse er dog udført for slutningen af århundredet og er baseret på kun en enkelt klimasimulering for IPCCs A2 scenarie, som i slutningen af århundredet viser større klimaforandringer en A1B, som analyseres her. Den analyse har derfor ikke kunnet vurdere modelrelaterede usikkerheder på resultaterne, som det sker i denne rapport; der er også en betydeligt højere statistisk usikkerhed på de resultater end på dem, der præsenteres her for 3 simuleringer mht. timenedbør og 13 mht. døgnedbør; det vurderes derfor, at de herværende resultater er mere robuste, især naturligvis analysen af døgnedbør. Resultaterne for slutningen af århundredet i rapporten fra 2008 er højere



end foreløbige værdier for samme periode præsenteret nedenfor.

Detaljeret gennemgang

Som udgangspunkt for beregningen af klimafaktorer er benyttet data fra regionale klimamodeller, som de er samlet i det såkaldte ENSEMBLES-arkiv, en samling af output fra klimasimuleringer finansieret af EU i projektet ENSEMBLES under det 6. Rammeprogram. Projektet forløb 2004-2009. Data fra ENSEMBLES benyttes allerede til at vise data for fremtidige klimaforandringer på et Danmarkskort på klimatilpasningsportalen <http://www.klimatilpasning.dk>. De regionale data dækker hele Europa i en opløsning svarende til ca. 25km gitterafstand. Mange forskellige meteorologiske felter er til rådighed i daglig tidsopløsning for perioden 1951-2050, og for nogle simuleringer 1951-2100. Der er udført en analyse af 13 simuleringer. Af disse 13 simuleringer er de tre udført ved DMI, hvorfor også timedata har været til rådighed for disse. På basis af timenedbør fra de tre DMI-simuleringer er der udført en tilsvarende analyse for at undersøge eventuelle forskelle i klimafaktorer ved højere tidsopløsning. Endelig er resultaterne for perioden 2021-2050 sammenlignet med tilsvarende resultater for den senere periode 2070-2099.

Fra hver enkelt simulering er ekstraheret data for landpunkter i Danmark. Med det givne gitter er der 61 af den slags punkter. Analysen skal munde ud i klimafaktorer for gentagelsesperioder 5, 10, 20, 50 og 100 år. Disse returværdier beregnes på basis af 30-års perioder og må derfor nødvendigvis være parametriske, da gentagelsesperioden kan være længere end den periode, hvis data bliver benyttet. Fremgangsmåden har været at finde maksima for hvert enkelt år og hvert enkelt gitterpunkt i den 30-årige periode, enten nutidsperioden 1961-1990 eller fremtidsperioden 2021-2050. Disse 30 årsmaksima for et givet punkt, eksperiment og periode er blevet approksimeret med en Gumbel-funktion (Gumbel, 1958). Gumbel-funktionens akkumulerede fordeling er

$$F(p) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{p - \mu}{\beta} \right) \right]$$

og dermed kan man finde parametrene μ og β ved at sortere de 30 værdier og tilordne hver nedbørsværdi den akkumulerede sandsynlighed $f_i = (i-1/2)/30$, $i=1, \dots, 30$. Dette gøres i praksis ved lineær regression af nedbøren p_i mod x -værdien $-\ln(-\ln((i-1/2)/30))$. Ved dette fit vil μ være skæringen med y -aksen og β vil være hældningen. Det skal bemærkes, at denne operation er lineær i p_i med samme x -værdier for alle punkter. Derfor kan de beregnede parametre simpelt midles over de gitterpunkter, der indgår i analysen. Det bemærkes, at klimafaktoren for en vilkårlig gentagelsesperiode T kan beregnes som

$$k(T) = \frac{\mu_s + \beta_s a}{\mu_c + \beta_c a}, \quad a = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

hvor c indikerer parametre for kontrolperioden og s indikerer parametre for fremtidsperioden.

Det bedste bud på en klimafaktor bør være at bruge gennemsnit over alle simuleringer af $\mu_s + \beta_s a$ henholdsvis $\mu_c + \beta_c a$ og derudfra beregne klimafaktorer $\hat{k}(T)$. For meget lange gentagelsesperioder vil forholdet nærme sig β_s/β_c . Disse resultater vises i Tab. 1.

Tabel 1 Klimafaktorer $\hat{k}(T)$ for nedbør beregnet som forholdet mellem gennemsnit af $\mu + \beta a$.

Nederste linje er en analyse af døgnedbør for de tre simuleringer, hvor der forefindes timenedbør.

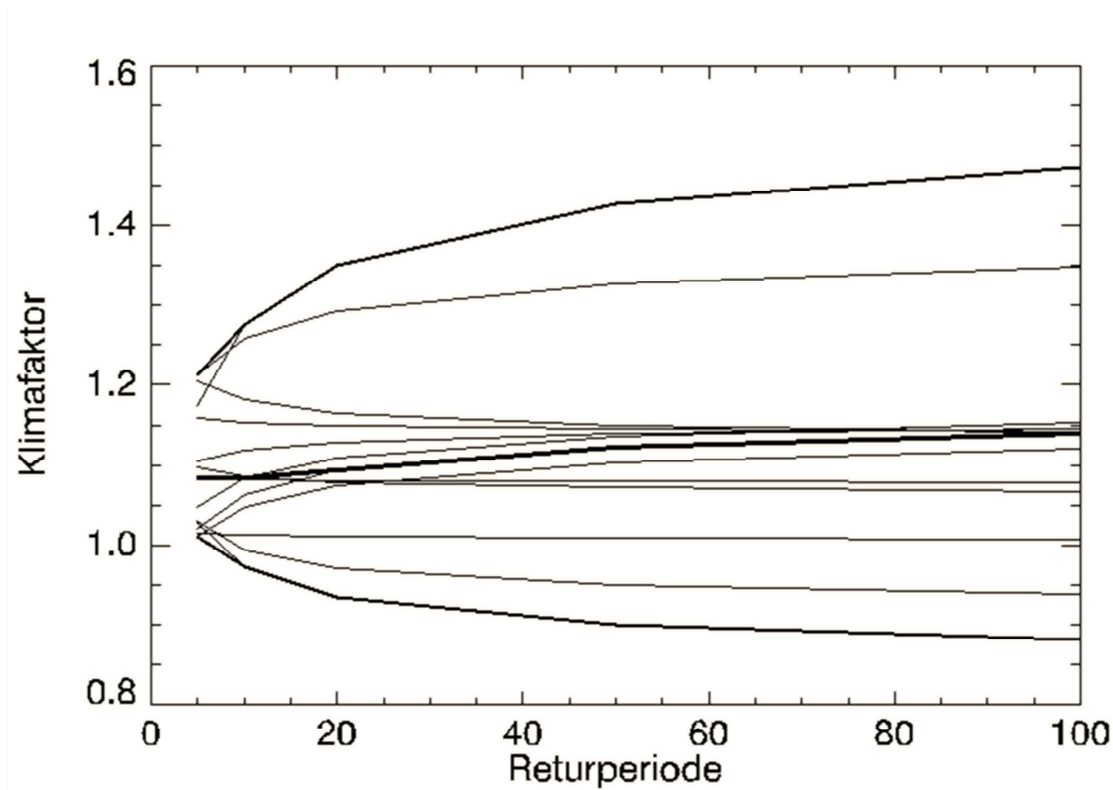
Gentagelsesperiode	5	10	20	50	100	∞
Klimafaktor døgnedbør	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,15
Klimafaktor timenedbør for 3 simuleringer	1,11	1,14	1,15	1,17	1,18	1,28
Klimafaktor døgnedbør for 3 simuleringer	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,10

Man kan opfatte de 13 forskellige simuleringers 13 forskellige bud på klimafaktorer som en form for sandsynlighedsfordeling. Med dette udgangspunkt har vi beregnet et usikkerhedsinterval ved at

finde den laveste, den midterste samt den højeste klimafaktor for hver enkelt gentagelsesperiode blandt de 13 simuleringer. Dette vises i Tab. 2 og Fig. 1. Det fremgår, at medianen af klimafaktorerne vokser med gentagelsesperioden fra omkring 1,1 for 5 års gentagelsesperiode til omkring 1,15 for 100 års gentagelsesperiode. Der er en del spredning, som vokser med gentagelsesperioden. For 100 års gentagelsesperiode ses værdier mellem 0,9 og 1,5.

Tabel 2 Klimafaktorer for døgnedbør for enkelte simuleringer. For hver enkelt gentagelsesperiode er den mindste, midterste og højeste af de 13 faktorer noteret.

Gentagelsesperiode	5	10	20	50	100	∞
Største faktor	1,21	1,28	1,35	1,43	1,47	1,57
Medianfaktor	1,08	1,08	1,09	1,12	1,14	1,12
Mindste faktor	1,01	0,97	0,93	0,90	0,88	0,72

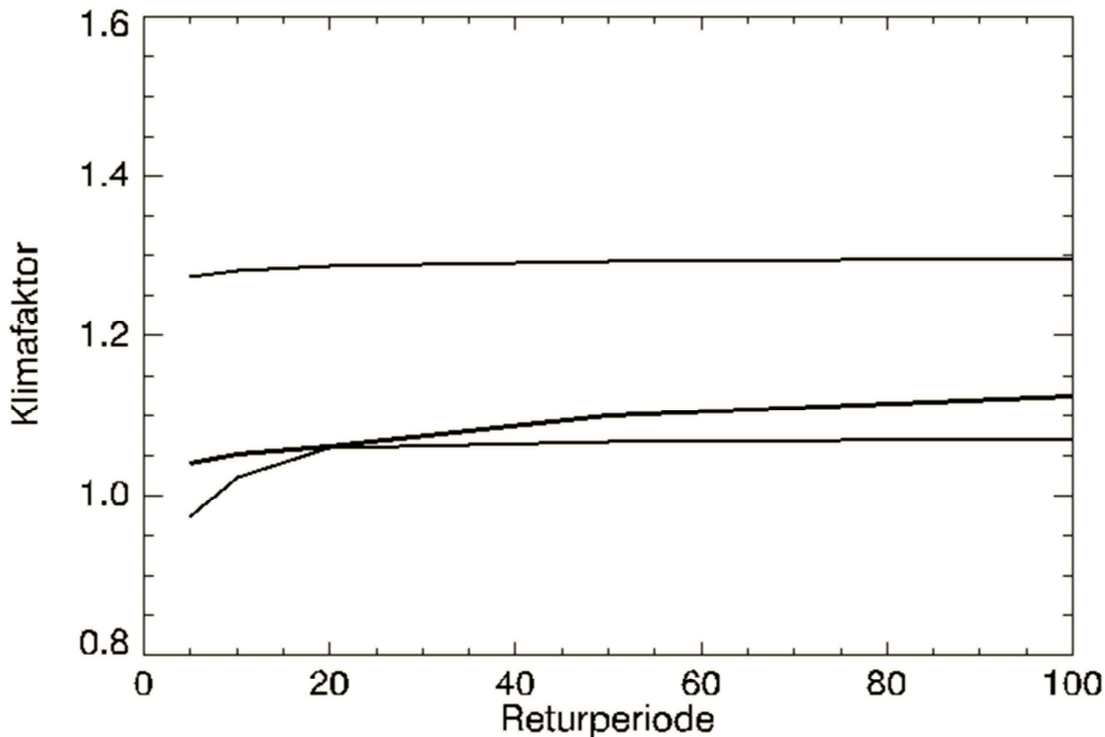


Figur 1 Klimafaktorer for døgnedbør. Tykke linjer angiver den for enhver periode højeste, midterste og mindste værdi. Tynde linjer er hver af de 13 simuleringer.

For timenedbør er analysen udført på præcis samme måde for de 30 årsmaksima af timenedbør i hver periode. De 3 simuleringers resultater ses i Tab. 3 og Fig. 2. Med så få simuleringer er det meget svært at bedømme usikkerheden og sammenligne denne med resultaterne for døgnedbør, men der findes ingen grund til at konkludere, at den er meget forskellig med de viste resultater. De midterste klimafaktorer for timenedbør er en anelse lavere end for døgnedbør.

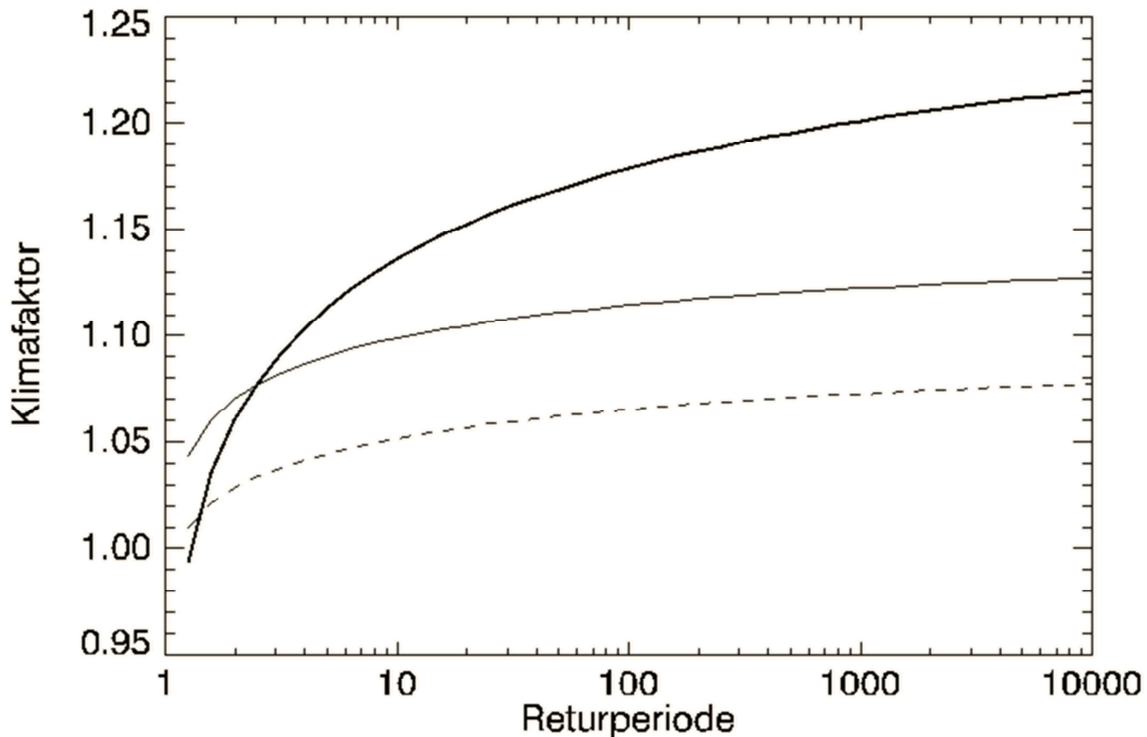
Tabel 3 Klimafaktorer for timenedbør for enkelte simuleringer. For hver enkelt gentagelsesperiode er den mindste, midterste og højeste af de tre faktorer noteret.

Gentagelsesperiode	5	10	20	50	100	∞
Største faktor	1,27	1,28	1,29	1,29	1,30	1,41
Medianfaktor	1,04	1,05	1,06	1,10	1,12	1,32
Mindste faktor	0,97	1,02	1,06	1,07	1,07	1,12



Figur 2 Klimafaktorer for timenedbør. Den tykkeste linje angiver den for enhver periode midterste værdi.

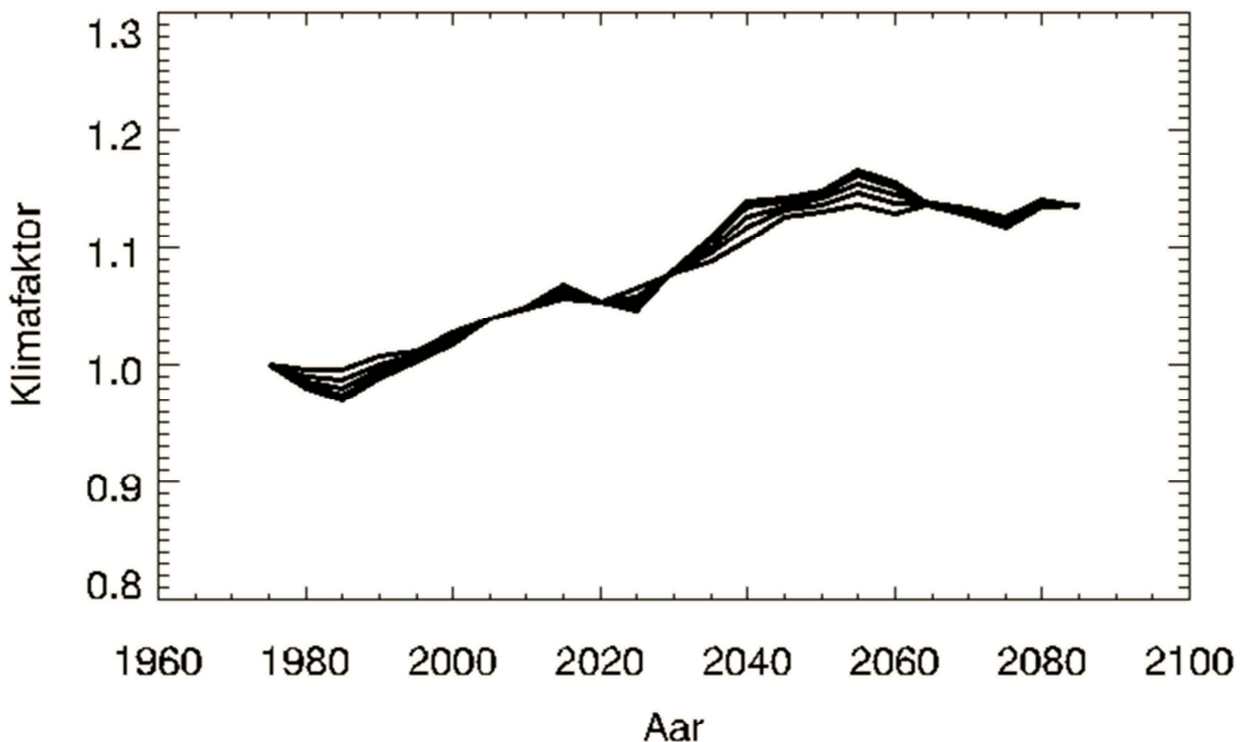
For at udføre en nærmere sammenligning mellem time- og døgnresultater, er døgnværdier blevet analyseret separat for de tre simuleringer, hvor også timeværdier er til rådighed. Resultater for parametre beregnet som i Tabel 1 vises i Fig. 3. Det ses, at klimafaktorerne for de tre simuleringer er lidt lavere end for de 13. Man kan derfor antage, at en analyse af timenedbør for alle simuleringer formentlig ville vise højere værdier end for de tre simuleringer, der var til rådighed. På grund af det meget lave antal simuleringer og den høje usikkerhed er det ikke forsøgt at ekstrapolere klimafaktorer til det større ensemble af simuleringer. Parametrene for de tre analyser findes i Tab. 4.



Figur 3 Klimafaktorer for de tre simuleringer med timenedbør (tyk linje), alle simuleringer med døgnedbør (tynd linje) samt faktorer for døgnedbør for de tre simuleringer, hvor timenedbør forefindes (stiplet linje). Bemærk den logaritmiske x-akse.

Tabel 4 Gumbel-parametre for simuleringer i Tab. 1. Døgnedbør og dermed parametrene måles i mm/døgn; for timenedbør måles i mm/time. Nederste linje er en analyse af døgnedbør for de tre simuleringer, hvor der forefindes timenedbør.

Parameter	μ_c	β_c	μ_s	β_s
Døgnedbør	23,86	8,33	25,30	9,56
Timenedbør for 3 simuleringer	4,88	1,55	5,06	1,98
Døgnedbør for 3 simuleringer	25,99	7,44	26,54	8,17



Figur 4 Klimafaktorer svarende til øverste linie af Tab. 1 beregnet for løbende 30-årsperioder fra 1961-1990 og frem til 2071-2100. Hver linje svarer til en af de 5 gentagelsesperioder i analysen.

I Fig. 4 vises medianklimafaktorer for de 5 gentagelsesperioder, beregnet som ovenfor, men for fremtidige 30-årsperioder forskudt med 5 år ad gangen. Der ses en del fluktuationer, men dog en jævn stigning fra omkring 1.1 for den ovenfor analyserede periode 2021-2050 (x-værdi 2035 på figuren) og frem mod værdier i omegnen af 1.2 for slutningen af århundredet.

En sammenligning af værdierne for slutningen af århundredet med de tilsvarende værdier fra Arnbjerg-Nielsen (2008) viser lavere værdier i vores analyse. Den tidligere undersøgelse bygger på en simulering med et kraftigere scenarie (A2 i modsætning til A1B) i en højere opløsning; begge disse forskelle kan være delårsager til de højere klimafaktorer i Arnbjerg-Nielsen (2008). Der er analyseret flere værdier (tærskeloverskridelser i modsætning til årsmaksima). Til gengæld bygger den herværende analyse på langt flere modeldata: 13 forskellige transiente simuleringer for hele århundredet i modsætning til en enkelt simulering begrænset til slutningen af århundredet. Der er derfor en betydeligt større statistisk usikkerhed på resultaterne fra Arnbjerg-Nielsen (2008) end på de her præsenterede.

Et projekt finansieret af Vandsektorens Teknologiuudviklingsfond (VTUF) er i 2012 iværksat for at foretage en samlet analyse og syntese af de hidtidige bearbejdnings og forventes af rapporteret primo 2014. Denne grundigere analyse af ENSEMBLES-datasættene må forventes at give resultater, der formentlig er mere robuste, men ikke væsentligt forskellige fra de resultater, der præsenteres i denne rapport. Undersøgelsen forventes at resultere i en fornyet anbefaling fra Spildevandskomiteen i form af reviderede klimafaktorer samt kunstige regneserier for fremtidens klima under et middel- og et højt scenarie.



Referencer

K. Arnbjerg-Nielsen, 2008: Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. IDA-Spildevandskomitéen, Skrift nr. 29.

Gumbel, Emil J. (2004) [1958], *Statistics of Extremes*, Mineola, NY: Dover, ISBN 0-486-43604-7.
Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., *et al.*, 2000. Emission scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 599 pp.

Tidligere rapporter

Tidligere rapporter fra Danmarks Meteorologiske Institut kan findes på adressen:

<http://www.dmi.dk/dmi/dmi-publikationer.htm>