



## **Danmarks Klimacenter rapport 11-03**

### **Fremtidige nedbørsændringer i Danmark**

En oversigt over den aktuelle viden i sommeren 2011

Martin Drews, Fredrik Boberg, John Cappelen,  
Ole Bøssing Christensen, Jens Hesselbjerg Christensen,  
Sisse Camilla Lundholm og Martin Olesen



*Efter skybrud. Foto: Flemming Jenle*



# Kolofon

**Serietitel:**

Danmarks Klimacenter rapport 11-03

**Titel:**

Fremtidige nedbørsændringer i Danmark

**Undertitel:**

En oversigt over den aktuelle viden i sommeren 2011

**Forfatter(e):**

Martin Drews, Fredrik Boberg, John Cappelen, Ole Bøssing Christensen, Jens Hesselbjerg Christensen, Sisse Camilla Lundholm og Martin Olesen

**Andre bidragsydere:**

Denne rapport er udarbejdet på foranledning af og finansieret af Koordinationsenheden for forskning i klimatilpasning (KFT)

**Ansvarlig institution:**

Danmarks Meteorologiske Institut

**Sprog:**

Dansk

**Emneord:**

Klima, klimaforandringer, klimatilpasning, nedbør, ekstremregn, ENSEMBLES

**Url:**

[www.dmi.dk/dmi/dkc11-03](http://www.dmi.dk/dmi/dkc11-03)

**Digital ISBN:**

978-87-7478-599-6

**ISSN:**

1399-1957

**Versionsdato:**

01.09.2011 (opdateret version af Danmarks Klimacenter rapport 11-03, versionsdato: 01.08.2011)

**Link til hjemmeside:**

[www.dmi.dk](http://www.dmi.dk)

**Copyright:**

Danmarks Meteorologiske Institut



## Indhold:

Abstract in English.....	4
Resumé.....	4
1. Indledning .....	4
2. Ændringer i den globale nedbør.....	5
3. Ændringer i nedbørsmønstret i Danmark.....	7
3.1 Observerede ændringer i middelnedbøren i Danmark .....	7
3.2 Observerede ændringer i kraftig nedbør i Danmark .....	8
4. Forventede nedbørsændringer - Danmark i et grænseområde .....	11
4.1 Forventede ændringer - mere nedbør om vinteren og mindre om sommeren.....	12
4.2 Forventede ændringer - kraftigere nedbørsekstremer .....	12
5. Opsummering.....	14
Forkortelser .....	15
Referencer .....	16
Tidligere rapporter .....	17



## Abstract in English

The adaptation to a changing future climate, e.g. with more extreme precipitation events, presents a major challenge for society. Without proper handling of larger water flows, it is probable that an increase in the strength and frequency of extreme precipitation events in Denmark will lead to more frequent floodings within both urban and rural areas, causing serious societal and economic damage. Expected change in precipitation patterns will furthermore lead to more frequent and longer dry periods in summer and increased amounts of precipitation in winter.

Global observations of precipitation for the last 100 years show general geographical patterns in the change of total precipitation. Local and regional temporal variations are generally so large, however, that it is not possible to attribute such changes to anthropogenic climate change.

This report provides a brief review of current knowledge with respect to observed and expected future precipitation change in Denmark, based on Danish as well as international studies since 2007. Both observations and model calculations are considered.

## Resumé

Én af fremtidens samfundsmæssige udfordringer bliver tilpasning til et ændret klima med blandt andet mere ekstreme nedbørshændelser. Uden passende håndtering af større vandmængder er det således sandsynligt, at flere ekstreme nedbørshændelser i Danmark vil føre til hyppigere oversvømmelser i byer og landområder med både samfundsmæssige og økonomiske skader til følge. Foruden flere kraftigere skybrud, vil de forventede nedbørsændringer også give sig udslag i flere og længere perioder uden nedbør om sommeren og øget vinternedbør.

Globale observationer af nedbør gennem de sidste 100 år viser nogle generelle geografiske mønstre i ændringen i den totale nedbør. De lokale og regionale variationer over tid er dog ofte så betydelige, at det er umuligt at tilskrive disse ændringer til menneskeskabte klimaændringer.

Denne rapport beskriver i korte træk den aktuelle viden om fremtidige nedbørsændringer i Danmark baseret på danske og internationale studier siden 2007, både hvad angår observationer og modelberegninger.

## 1. Indledning

Flere studier peger på, at den globale opvarmning forøger atmosfærens indhold af vanddamp med cirka 7% per grad, atmosfærens temperatur stiger (Soden et al., 2005; Wentz et al., 2007). Det betyder, at atmosfærens indhold af vanddamp har været stigende og vil fortsætte med at stige som en konsekvens af den globale opvarmning. Af samme årsag forventes også den globale nedbør at stige. Samme modelberegninger viser, at den globale middelnedbør vil stige med omkring 2% for hver grad, temperaturen stiger i atmosfæren, mens antallet af kraftige nedbørshændelser vurderes at stige med cirka 7% per grad. Ændringerne i nedbørsmønstret fordeler sig ujævnt både regionalt og sæsonmæssigt. Modelberegningerne peger på, at stigningen i de kraftige nedbørshændelser vil være mest udtalt i troperne. Ændringer i nedbørsmønstret giver sig desuden udslag i både flere og længerevarende tørkeperioder i f.eks. det centrale Europa, store dele af Amerika og Australien.



Også for Danmark peger klimamodellerne på, at **den globale opvarmning medfører et ændret nedbørsmønster, både med hensyn til mængden og intensiteten af nedbøren.** Dette underbygges til dels af observationerne: De sidste 150 år er den årlige nedbør på landsplan steget med omkring 100 mm samtidig med, at der har været en stigende tendens i antallet og intensiteten af kraftige nedbørshændelser.

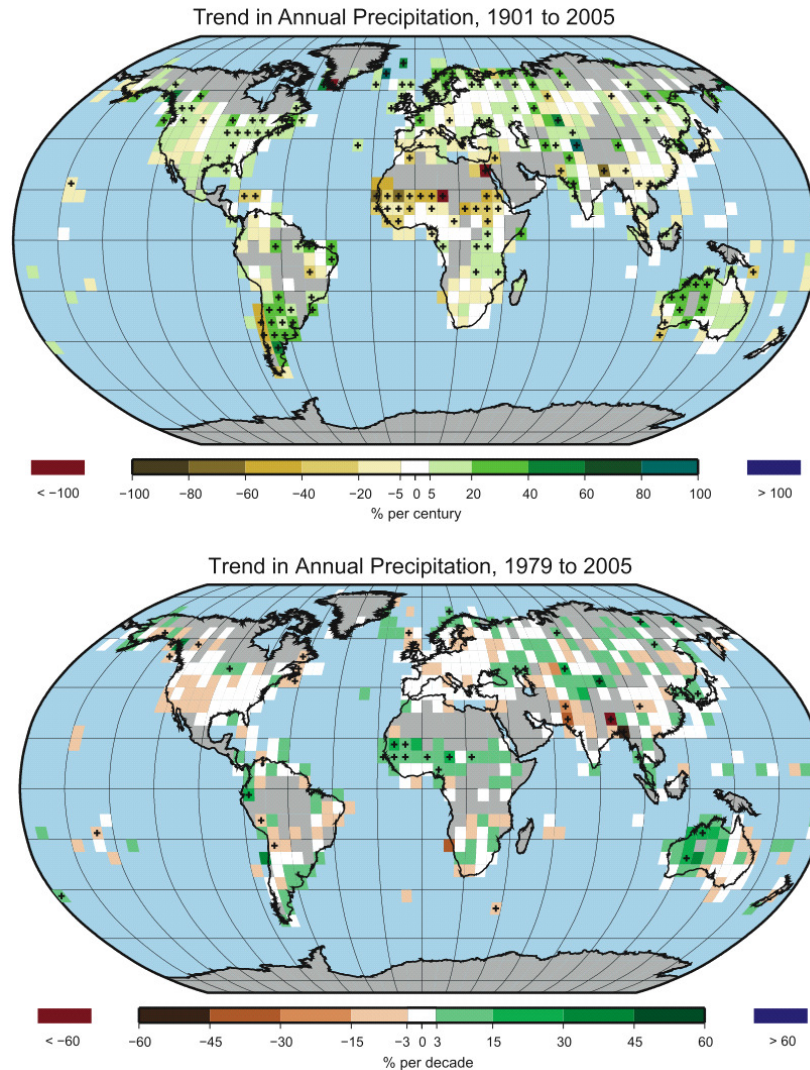
Denne rapport giver et overblik over den aktuelle viden om fremtidige nedbørsforhold i Danmark. Rapporten gennemgår en række nye resultater, som er publiceret siden IPCCs fjerde vurderingsrapport fra 2007 (IPCC, 2007; herefter betegnet AR4) med betydning for vurderingen af de fremtidige nedbørsændringer i Danmark. Desuden gennemgås resultater fra en række nye danske beregninger foretaget af DMI på basis af model-eksperimenter fra ENSEMBLES projektet (van der Linden og Mitchell, 2009).

Rapporten er udarbejdet på foranledning af og finansieret af Koordinationsenheden for forskning i klimatilpasning (KFT).

## 2. Ændringer i den globale nedbør

Den globale opvarmning påvirker både atmosfærens energibalance og vandets kredsløb. Det første medfører blandt andet forandringer i de atmosfæriske strømninger, hvilket nogle steder på Jorden kan resultere i ret markante ændringer i nedbørsfordelingen. Naturlige variationer over tid og geografiske områder vil imidlertid ofte dominere forholdene lokalt, hvorfor disse ændringer ikke altid efterlader indtryk af klare tendenser i den registrerede nedbør, hverken hvad angår den samlede mængde, årstidsvariationen eller intensiteten i nedbøren (IPCC, 2007). På trods heraf viser observationerne over de sidste 100 år nogle generelle geografiske mønstre i ændringen i den totale nedbør set over hele kloden. **Sammenhængen mellem et varmere klima og kraftigere regnbyger bekræftes således af flere studier** - blandt andet på basis af 20 års satellitmålinger - som videre antyder, at klimamodeller sandsynligvis underestimerer fremtidige ændringer i de ekstreme nedbørshændelser både i troperne og i Europa (Allan og Soden, 2008; Lenderink og van Meijgaard, 2008).

Figur 1 viser de beregnede ændringer i den årlige nedbør på et 5 gange 5 graders gitter for de områder på landjorden, hvor der er tilstrækkelig med data til at lave et pålideligt estimat af ændringen. Det øverste kort viser ændringerne (i %) i perioden 1901 til 2005, mens det nederste kort viser ændringerne mellem 1979 og 2005. De grønne nuancer indikerer øget nedbør, mens brune nuancer indikerer mindre nedbør. Som det fremgår af figuren, går ændringerne over de sidste 25 år mange steder i modsat retning af det billede, som tegner sig for ændringerne over hele sidste århundrede. Dette er især tydeligt i dele af Afrika, Nord- og Sydamerika. Omvendt er der større overensstemmelse mellem ændringerne længst mod nord, herunder Nordeuropa og Danmark.



**Figur 1. Tendenser i årlig nedbør i procent per århundrede for perioden 1901 til 2005 (øverst) og per årti for 1979 til 2005 (nederst), baseret på GHCN nedbørsdata fra NCDC. Procenterne er beregnet i forhold til perioden 1961 til 1990. Områder vist med grå farve har ikke data nok til at kunne beregne en pålidelig tendens. Kilde: (IPCC, 2007).**

Dette generelle billede er i overensstemmelse med det forventede, når det samtidig konstateres, at den globale temperatur over de sidste 100 år er øget med ca. 0,7°C (IPCC, 2007).

Som det antydes ovenfor og på figuren, er der stor usikkerhed om, hvor stor en del af de lokale ændringer, der kan ses om et resultat af den generelle menneskeskabte opvarmning. Variationer over tid og mellem geografiske områder er ofte så betydelige, at det kræver dybdegående analyser af observationerne på det pågældende sted, hvor data bl.a. sættes i relation til udviklingen i nærheden, før det er muligt at bestemme en evt. entydig udvikling for en given lokalitet (se f.eks. Zhang et al., 2007). Sådanne analyser må videre tage hensyn til andre forhold, som kan have betydning for variationer i nedbørsmængden end blot den globalt opvarmende tendens.. For eksempel ligger Danmark i et vestenvindsbælte, som er meget påvirkeligt af atmosfærens generelle strømning mellem Nordatlanten og det Euroasiatiske kontinent. Variationer i denne strømning (kaldet den Nordatlantiske svingning - NAO) påvirker i væsentlig grad nedbørsforholdene i og omkring Danmark. Årsagen til variationerne i NAO er imidlertid ikke forstået særlig godt. Det vides heller ikke om den globale opvarmning har påvirket NAO i væsentlig grad (IPCC, 2007).



I AR4 anføres det, at det er *sandsynligt*, at hyppigheden af kraftig nedbør er steget i de fleste landområder over de sidste 50 år, og at det er *meget sandsynligt*, at udviklingen vil fortsætte i det 21. århundrede (IPCC/DMI, 2008; IPCC, 2007). Det er endvidere *meget sandsynligt*, at nedbørsmængderne stiger på høje breddegrader, og *sandsynligt*, at de falder i de fleste subtropiske landområder, hvilket er i forlængelse af de nyligt observerede tendenser.

### 3. Ændringer i nedbørsmønstret i Danmark

Den globale opvarmning har indflydelse på det generelle nedbørsmønster både med hensyn til intensiteten og de gennemsnitlige nedbørsmængder.

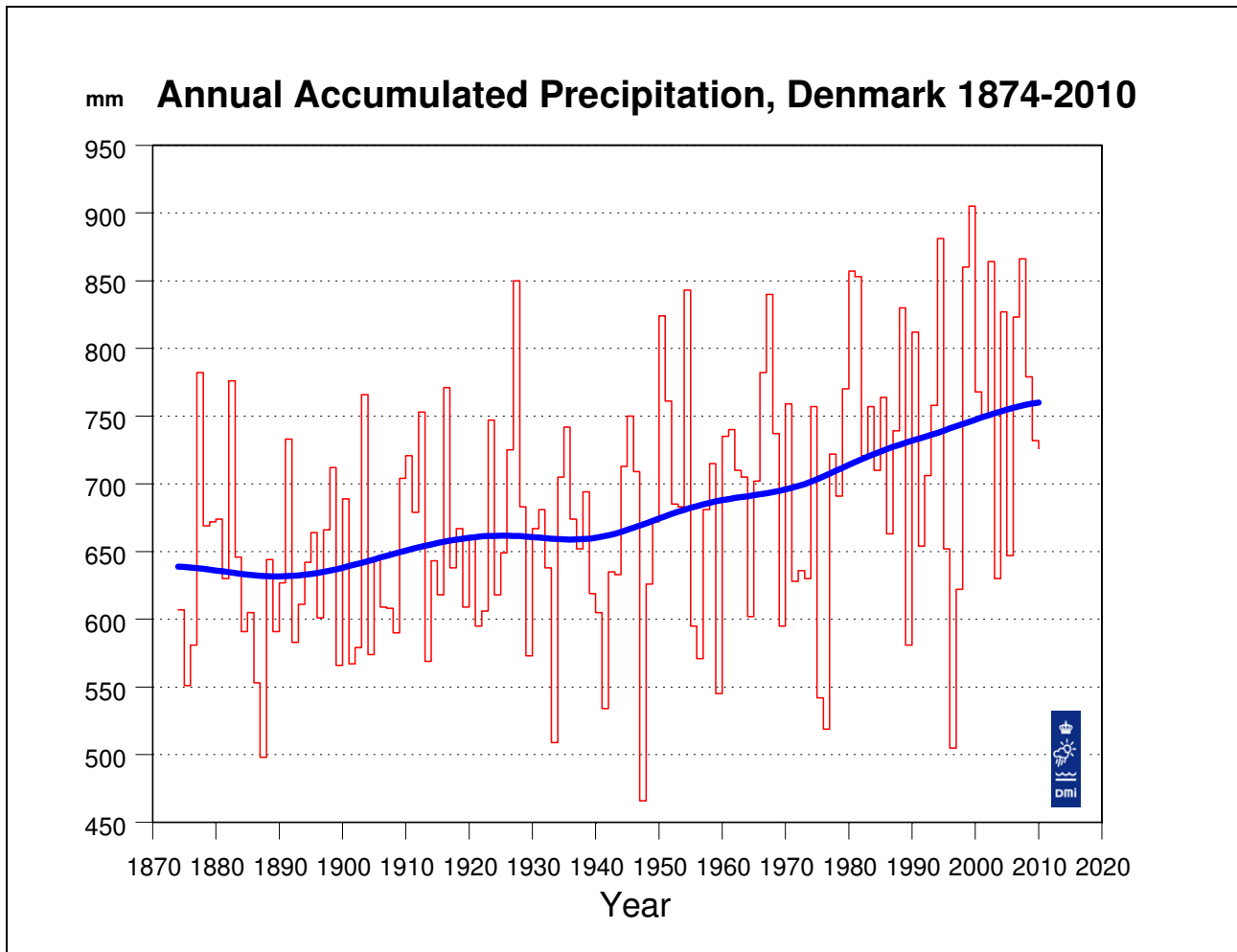
Siden 1870 er middeltemperaturen i Danmark steget med ca. 1,5°C (Cappelen, 2011d) eller omtrent det dobbelte af den globale middeltemperaturstigning i samme periode (IPCC, 2007; Zhang et al., 2007). **Den årlige nedbør på landsplan i Danmark er tilsvarende steget med omkring 100 mm siden 1870 (Cappelen, 2011d).**

I samme periode er der sandsynligvis sket en generel ændring i den atmosfæriske storskalastrømning med et skift af den overordnede atmosfæriske strømning imod nord samtidig med, at strømmingen generelt er blevet mere vestlig, især om vinteren (IPCC, 2007). Sådanne regionale ændringer kan være betydelige sammenlignet med de herskende globale middelforhold. I perioden fra omkring 1960 frem til 1990 resulterede disse regionale ændringer således blandt andet i kraftigere vestenvinde; efterfølgende er niveauet faldet tilbage til et niveau, som svarer til langtidsmidlet i Danmark (se bl.a. Alexander et al., 2005). Ændringerne har påvirket og forstærket såvel temperaturstigninger som nedbørsmængderne over Danmark og behøver som tidligere nævnt ikke at være relaterede til den globale opvarmning. Disse ændringer skyldes komplicerede vekselvirkninger mellem strømmingen i atmosfæren, havene og andre komponenter i klimasystemet.

#### 3.1 Observerede ændringer i middelnedbøren i Danmark

DMI har foretaget landsdækkende observationer af nedbøren i Danmark siden 1874 (Cappelen, 2011a-c). Den årlige nedbør i Danmark varierer meget fra år til år og fra sted til sted. Gennemsnitligt regner det mest i Midtjylland med over 900 mm og mindst i Kattegat-regionen og ved Bornholm med ca. 500 mm. Den mindste årsnedbør for landet som helhed var 464 mm i 1947, og den højeste var 905 mm i 1999.

Figur 2 viser landsobservationer af den gennemsnitlige årlige nedbør foretaget af DMI i perioden fra 1874 til 2010. Den gennemsnitlige mængde nedbør for hele perioden er ca. 679 mm per år. I de første 30 år svarende til normalperioden 1961-1990 var den gennemsnitlige årlige nedbør cirka 712 mm per år. De seneste 10 år (2001-2010) er den gennemsnitlige årlige nedbør ca. 765 mm per år.



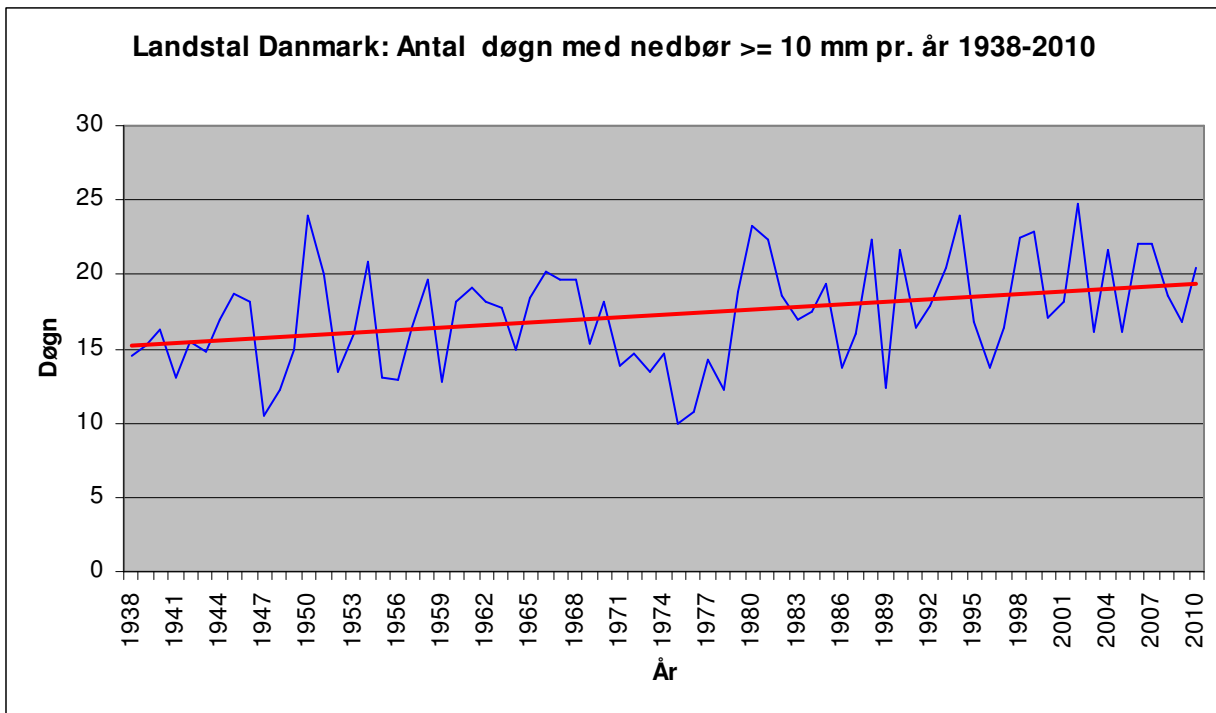
**Figur 2. Danmarks årlige nedbør i perioden 1874-2010. Værdierne er beregnede landsgennemsnit på basis af et stort antal nedbørstationer spredt udover landet. Et gaussfilter med filterbredden (standardafvigelse) 9 år er anvendt til blå kurve. Kilde: (Cappelen, 2011c).**

Selv om observationerne som vist i figur 2 kvalitativt set indikerer en stigende tendens, betyder årtil-årt variationerne, at nøjagtigheden på størrelsen af den estimerede ændring kvantitativt set er beskedent. Den tidlige udvikling er illustreret ved den blå kurve, der afbilder tendensen i den gennemsnitlige årlige nedbør. Kurven viser resultatet af en analyse med et gaussfilter med en standardafvigelse på 9 år. Filtret kan nogenlunde sammenlignes med et 30-års glidende gennemsnit. Gaussfilteret udjævner dog mere end et glidende gennemsnit, da værdier i midten af filteret får større vægt end i udkanten af filteret. Værdierne i tidsseriens ender bliver også filteret, dog med et ensidigt filter. Ved fremtidige opdateringer vil filter-værdierne i slutningen af tidsserien derfor ændres.

### 3.2 Observerede ændringer i kraftig nedbør i Danmark

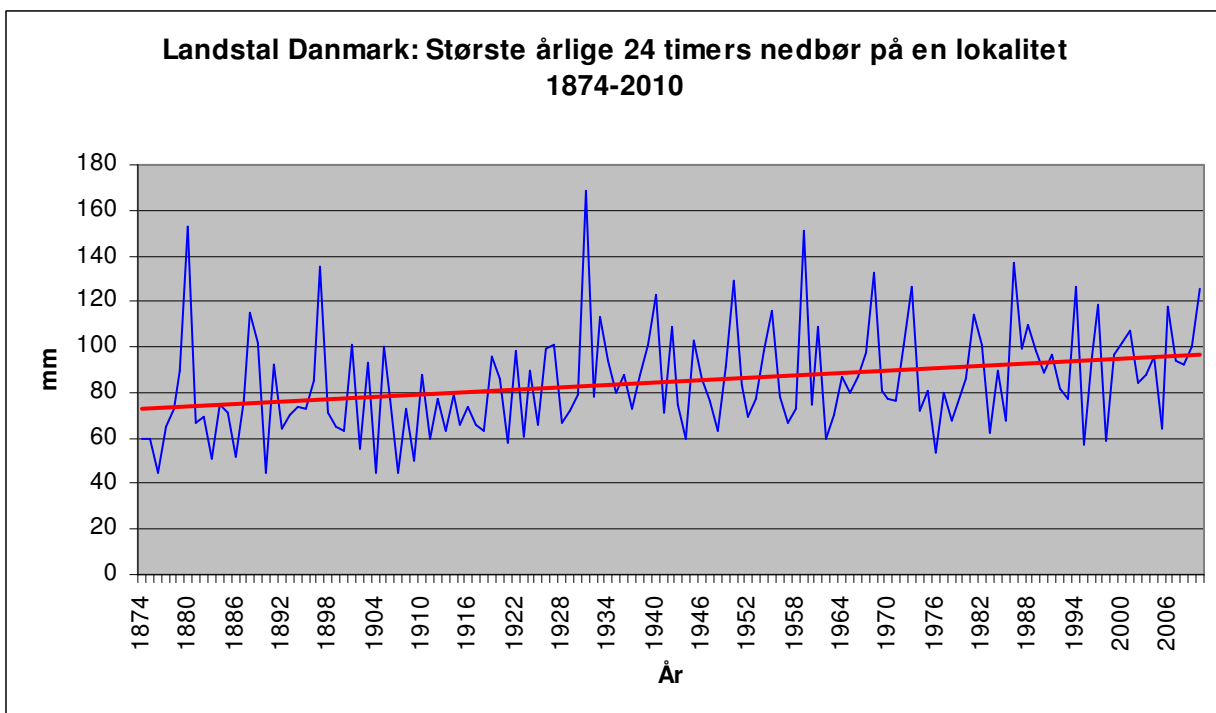
**Hyppegheden af kraftige nedbørshændelser har generelt været stigende i Danmark de seneste 70 år.** Figur 3 viser landstal for antallet af døgn, hvor der er faldet mere end 10 mm nedbør, for hvert år i perioden 1938-2008, mens den røde linje udtrykker den lineære tendens.





Figur 3. Antal døgn per år med mere end 10 mm nedbør. Kilde: (Cappelen, 2011e).

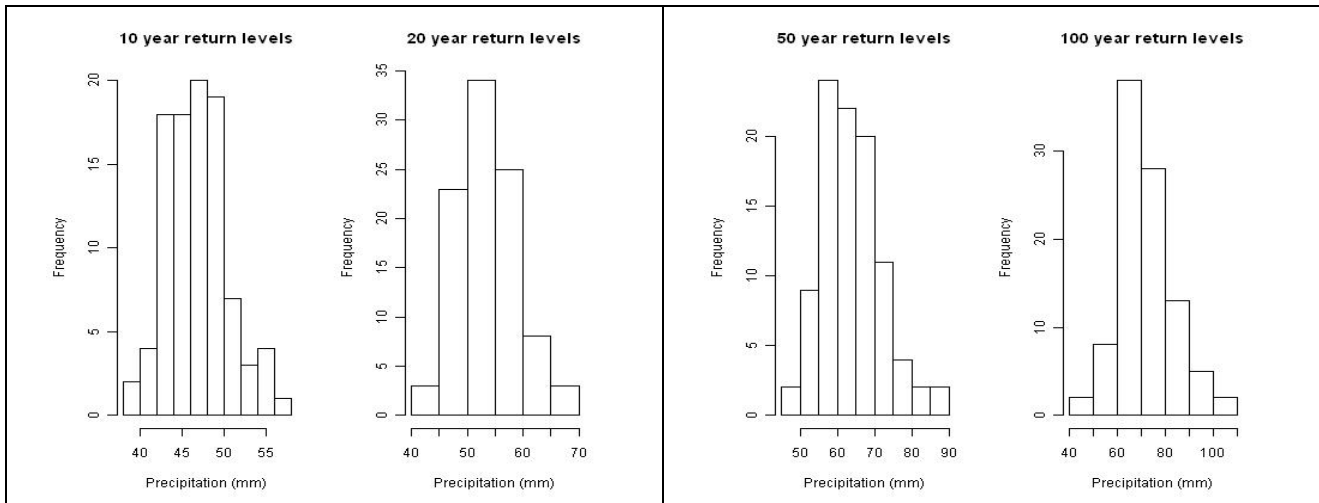
Også den maksimale mængde nedbør, der falder i løbet af ét døgn, har generelt været stigende som illustreret på figur 4, der viser den største årlige mængde nedbør i løbet af ét døgn på en bestemt lokalitet i Danmark i perioden 1874-2010.



Figur 4. Største årlige 24-timers nedbør på en lokalitet i Danmark i perioden 1874-2010. Kilde: (Cappelen, 2011e).

Der er udført ekstremværdianalyser for den daglige nedbør (24 timers akkumuleret nedbør) ud fra kvalitetskontrollerede tidsserier for 96 udvalgte nedbørsstationer, som geografisk dækker hele Danmark (Lundholm & Cappelen, 2011). Nedbørsserierne dækker perioden 1961 – 2010.

I analysen er en nedbørshændelse defineret som ”ekstrem”, hvis den overstiger en valgt tærskelværdi. Ekstreme værdier defineret på denne måde følger tilnærmelsesvis en bestemt, kendt statistisk fordeling ud fra hvilken gentagelsesniveauer for en given gentagelsesperiode kan estimeres. Figur 5 viser, hvordan de 96 estimerede gentagelsesniveauer for daglig nedbør (dækkende hele landet) fordeler sig for gentagelsesperioderne på henholdsvis 10, 20, 50 og 100 år.



**Figur 5. Fordeling af gentagelsesniveauerne for døgnsommer for de 96 stationer for gentagelsesperioder på henholdsvis 10, 20, 50 og 100 år. (Lundholm & Cappelen, 2011).**

Bredden af de viste fordelinger udtrykker her de regionale forskelle i gentagelsesniveauerne, mens medianen eller gennemsnittet kan tages som et udtryk for landsgennemsnittet for perioden 1961-2010, se tabel 1. Som det ses nedenfor er den statistiske usikkerhed på de mest ekstreme hændelser (f.eks. 100-års hændelsen) som forventet større end de mindre ekstreme (f.eks. 10-års hændelsen) og dermed hyppigere forekomne hændelser. Dette skyldes, at jo længere analysen ekstrapolerer i tid, desto større usikkerhed er der på gentagelsesniveauet.

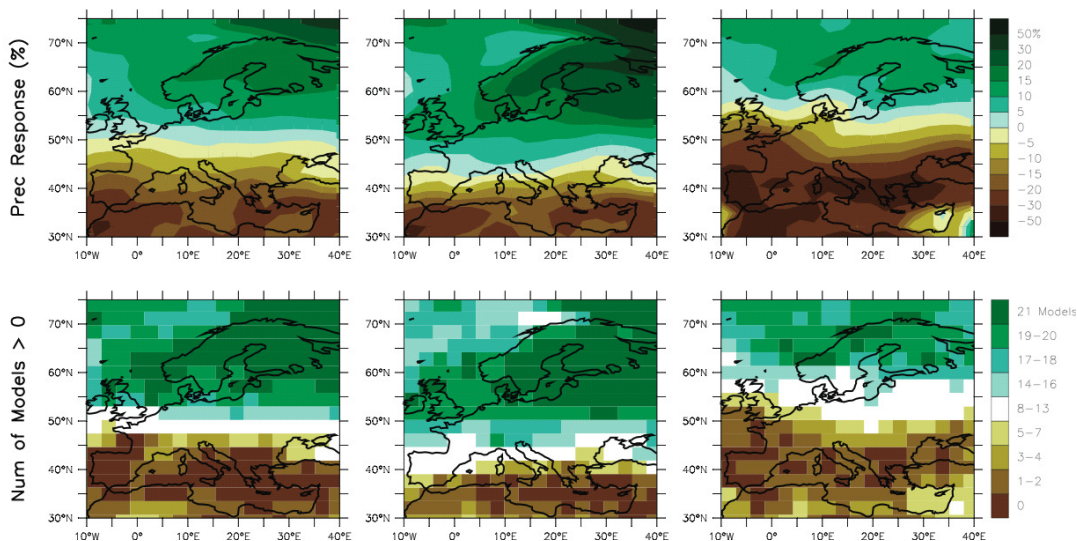
Gentagelsesniveau	Landstal (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)
10-års hændelse	46,8	41,8 (36,3)	56,8 (74,6)
20-års hændelse	53,6	46,3 (29,1)	70,2 (102,6)
50-års hændelse	63,5	52,3 (42,2)	93,6 (158,6)
100-årshændelse	71,8	56,7 (44,1)	117,0 (222,3)

**Tabel 1. Landstal (gennemsnit over 96 stationer) svarende til figur 5 for daglig nedbør (24 timers akkumuleret nedbør). De viste landstal såvel som de angivne nedre (min.) og øvre (max.) grænser for 95% konfidensintervallet er beregnede som simple gennemsnit over alle de estimerede konfidensintervaller for de 96 stationer. Tallene i parentes angiver den laveste henholdsvis den højeste grænseværdi blandt de 96 stationer. (Lundholm & Cappelen, 2011).**

Beregninger (Lundholm, 2011) for fem udvalgte stationer, der dækker nedbøren i Danmark helt fra 1874 til 2010, viser god overensstemmelse med estimerer af 10-, 20-, 50- og 100-års hændelserne for den kortere periode 1961-2010.

## 4. Forventede nedbørsændringer - Danmark i et grænseområde

Der er publiceret en lang række modelstudier af fremtidige nedbørsændringer i Europa frem til slutningen af det 21. århundrede. Modeleksperimenterne viser generelt en tendens til mere nedbør i de nordligste dele af Europa, herunder i Danmark, hvor den største stigning ses om vinteren. Omvendt giver beregningerne meget forskellige resultater, hvad angår ændringen i nedbøren om sommeren i Danmark. Samlet set tegner model-eksperimenterne således et billede af, **at Danmark i fremtiden vil komme til at ligge på grænsen mellem to zoner**, cf. figur 6, hvor mængden af sommernedbør i det nordlige Skandinavien generelt stiger, mens den falder i det centrale, østlige og sydlige Europa med stigende risiko for tørke til følge (Christensen et al., 2007; IPCC, 2007; van der Linden et al., 2009). **Det centrale estimat viser en reduktion af den samlede mængde nedbør om sommeren i Danmark i slutningen af det 21. århundrede**, men dette er behæftet med en del usikkerhed, som det er illustreret på figur 6 (Christensen et al., 2007; IPCC, 2007).



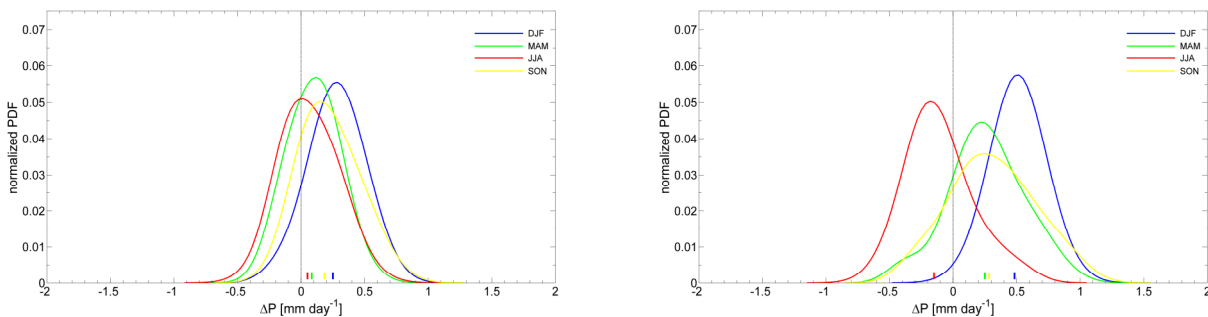
**Figur 6. Forventede ændringer (i %) i nedbøren over Europa i 2071-2100 under et A1B scenarie (Nakicenovic et al., 2000). Kilde: (Christensen et al., 2007; IPCC, 2007). Den øverste række viser den forventede ændring i den årlige nedbør (øverst til venstre), om vinteren (øverst i midten) og om sommeren (øverst til højre). Kortene viser de gennemsnitlige ændringer beregnet ud fra et ensemble af 21 klimamodeller. Den nederste række viser tilsvarende overensstemmelsen mellem de 21 klimamodeller for de ovenstående estimater og kan betragtes som et udtryk for usikkerheden på estimaterne. De grønne farver indikerer her, at et flertal af modellerne indikerer en stigning i nedbøren, mens gule farver tilsvarende indikerer, at flertallet indikerer et fald i nedbøren. De hvide områder angiver, at cirka halvdelen af modellerne giver et positivt signal, men den anden halvdel giver et negativt signal.**

Anderledes forholder det sig med den kraftige døgnedbør om sommeren. Flere studier (herunder Christensen og Christensen, 2003), har undersøgt udviklingen i den kraftige døgnedbør i Europa hen imod slutningen af den 21. århundrede under forskellige emissionsscenerier (Nakicenovic et al., 2000). Konklusionen er, at **vi kan forvente flere kraftige nedbørshændelser om sommeren blandt andet i Danmark** på trods af, at somrene sandsynligvis også bliver tørrere over store dele af det europæiske kontinent. Endvidere kan vi forvente, **at de kraftige nedbørshændelser bliver endnu kraftigere, og at det er de mest ekstreme hændelser, som øges mest.**

Et tilsvarende studie (Dankers et al., 2008) har undersøgt de forventede ændringer i den maksimale fem-døgnssum for nedbør (120 timers akkumuleret nedbør) i slutningen af det 21. århundrede for et IPCC A2 scenarie (Nakicenovic et al., 2000). Disse beregninger viser en markant stigning i den maksimale fem-døgnssum om vinteren i og omkring Danmark.

## 4.1 Forventede ændringer - mere nedbør om vinteren og mindre om sommeren

De nyeste beregninger for den forventede middelnedbør i Danmark (Boberg, 2010) er foretaget på baggrund af modelensemblet fra ENSEMBLES projektet (van der Linden og Mitchell, 2009) for SRES A1B scenariet (Nakicenovic et al., 2000). Beregningerne, **som bekræfter de tidligere beregninger**, er vist på figur 7. Formen og bredden af fordelingerne angiver et estimat af usikkerheden beregnet på baggrund af modelensemblet.



**Figur 7. Normaliserede sandsynlighedsfordelinger for de forventede ændringer i middelnedbøren i Danmark i perioden 2021-2050 (venstre) og i perioden 2071-2099 (højre) for A1B scenariet. DJF, MAM, JJA og SON angiver årstiderne: vinter, forår, sommer og efterår. Medianen for ændringen af årsnedbøren i 2021-2050 er 0,15 mm/dag (95% konfidensinterval: -0,15 til 0,45 mm/dag); i 2071-2099 er den 0,25 (95% konfidensinterval: -0,25 til 0,72 mm/dag). Kilde: (Boberg, 2010).**

Som vist i figuren ses en klar tendens til, at **den forventede vinternedbør i Danmark øges signifikant**, og dette sandsynligvis slår igennem allerede inden for de kommende halve århundrede. Der ses ligeledes **tendenser til en forøgelse af nedbøren både i forårs- og i efterårsmånederne** - mest signifikant hen mod slutningen af det 21. århundrede. For nedbøren om sommeren viser de nye beregninger for Danmark for perioden 2021-2050, at der er nogenlunde lige stor sandsynlighed for, at den samlede mængde nedbør i månederne juni, juli og august vil falde, som at den vil stige, mens det centrale estimat peger i retning af, at nedbøren vil være nogenlunde uændret. Dette billede ændres hen mod slutningen af århundrede (2071-2100), hvor **det centrale estimat peger i retning af en reduktion i mængden af nedbør om sommeren, men som det ses på figuren, så er dette resultat behæftet med stor usikkerhed**, der som beskrevet oven for bl.a. kan tilskrives Danmarks placering i et grænseområde.

## 4.2 Forventede ændringer - kraftigere nedbørsekstremer

For at vurdere størrelsen af de forventede ændringer i den kraftige nedbør i Danmark har DMI udført ekstremværdianalyser (Christensen et al., 2010) af både daglig nedbør (akkumuleret 24-timers nedbør) og den maksimale femdøgnssum for nedbør (akkumuleret 120-timers nedbør) ligeledes på baggrund af modelensemblet fra ENSEMBLES projektet (van der Linden, 2009). Lignende analyser er tidligere blevet udført på baggrund af resultater fra PRUDENCE projektet

(Christensen et al., 2007).

For 30-årsperioderne 1961-1990, 2021-2050 og 2070-2099 er gentagelsesniveauerne for hvert medlem i modelensemblet beregnet ved for hver af de fire årstider at sortere nedbørshændelserne efter intensitet. Dermed fås estimater af niveauet for 30-års gentagelsesperioden, 15-års gentagelsesperioden, osv. Estimater af f.eks. 50-års eller 100-års returværdien kan ikke beregnes på denne måde, da denne metode forudsætter en tidsserie, der mindst er lige så lang som gentagelsesperioden. For at beregne niveauerne for f.eks. 100-års gentagelsesperioden er man nødt til at ekstrapolere ud fra en antaget statistisk fordeling, hvilket ikke er gjort her. Usikkerhederne vurderes at være for store til, at resultaterne er signifikante.

Nedenfor er vist de beregnede procentvise ændringer med tilhørende estimater af usikkerheden (standardafvigelsen) for døgnedbør (tabel 2) og den maksimale femdøgnssum for nedbør (tabel 3) i Danmark (over land) for de fire årstider for perioden 2021-2050 i forhold til normalperioden 1961-1990.

Returværdi	Vinter (DJF)		Forår (MAM)		Sommer (JJA)		Efterår (SON)	
1 år	10	± 4	2	± 3	5	± 4	9	± 3
2 år	10	± 4	4	± 4	6	± 5	8	± 4
5 år	11	± 5	5	± 6	7	± 7	6	± 5
10 år	11	± 7	6	± 8	8	± 10	8	± 7
30 år	8	± 7	3	± 9	5	± 8	9	± 8

**Tabel 2. Procentvis ændring i døgnedbør (2021-2050 vs. 1961-1990). Beregningerne af de procentvise ændringer i x-års returværdierne for døgnedbøren over Danmark er baseret på ENSEMBLES data og fordelt på fire årstider. For hver årstid er vist returværdien samt et estimat af standardafvigelsen.**

	Vinter (DJF)		Forår (MAM)		Sommer (JJA)		Efterår (SON)	
1 år	9	± 4	6	± 4	5	± 4	9	± 4
2 år	10	± 5	6	± 5	5	± 6	10	± 6
5 år	10	± 7	6	± 7	7	± 8	11	± 8
10 år	9	± 10	7	± 11	5	± 12	14	± 12
30 år	9	± 8	6	± 12	3	± 14	16	± 12

**Tabel 3. Procentvis ændring i femdøgnssummen for nedbør (2021-2050 vs. 1961-1990). Beregningerne af de procentvise ændringer i x-års returværdierne for femdøgnssummer for nedbør over Danmark er baserede på ENSEMBLES data og fordelt på fire årstider. For hver årstid er vist returværdien samt et estimat af standardafvigelsen.**

Generelt viser begge tabeller **en tendens til kraftigere nedbørsekstremer**. Endvidere ses, at de procentvise ændringer i den kraftige nedbør over Danmark er nogenlunde ens for alle gentagelsesperioder, og at usikkerhederne generelt er størst for de mest ekstreme nedbørshændelser. Sidstnævnte skyldes til dels, at usikkerheden naturligt vokser, jo mere ekstreme hændelser vi betragter, da f.eks. 30-års hændelsen i sagens natur kun optræder én gang i hver 30-års periode for hvert model-eksperiment. Dertil kommer, at Danmark kun dækker et meget lille geografisk område, hvorfor der



naturligt er stor spredning blandt de ni model-eksperimenter, der her er brugt som grundlag for beregningerne. Inddrages gitterpunkter også uden for det danske landområde i beregninger, ses en mere **tydelig tendens til, at de mest ekstreme nedbørshændelser øges mere end de mindre ekstreme** i overensstemmelse med tidligere publicerede resultater. Dette gælder specielt om sommeren.

## 5. Opsummering

Observationer af nedbøren i Danmark fra 1874 til 2010 viser en tydeligt stigende tendens både i mængde og i form af flere kraftige nedbørshændelser. Denne tendens vil ifølge klimamodellerne fortsætte som en direkte konsekvens af den globale opvarmning.

De forventede ændringer i nedbørsmønstret i Danmark, specielt i form af øget vinternedbør og flere kraftigere skybrud, vil direkte påvirke både by- og landmiljøer, økosystemer og infrastrukturer som kloakker, veje og jernbaner. Flere kraftige nedbørshændelser vil derfor stille nye krav til f.eks. dimensioneringen af kloakker og til lokal håndtering af regnvand for at imødegå de stigende vandmasser.

Beregninger af fremtidens nedbørsforhold i Danmark er publiceret på en brugervenlig platform på [www.klimatilpasning.dk](http://www.klimatilpasning.dk), som stilles til rådighed af Videncentret for Klimatilpasning. Her vises kort, der er udarbejdet af DMI på baggrund af modelberegninger for SRES scenarierne (Nakicenovic et al., 2000) A2, B2, og A1B for perioden 2071-2100 (2100). Der er endvidere vist beregninger for ét muligt scenarie, der opfylder EUs målsætning om max. 2 graders global temperaturstigning i 2100 (EU2C). Endelig er der for A1B scenariet udført beregninger for den nære fremtidsperiode 2021-2050 (2050). Kortsamlingen er suppleret med tabeller, som viser de tilsvarende gennemsnit for hele Danmark, og kortene udtrykker hver for sig et realistisk bud på fremtidens nedbørsændringer i forhold til normalperioden 1961-1990.



## Forkortelser

AR4	IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
ENSEMBLES	ENSEMBLES projektet (2004-2009) er et fælles europæisk forskningsprojekt støttet af EUs 6. rammeprogram (contract number GOCE-CT-2003-505539). Se mere på <a href="http://www.ensembles-eu.org">http://www.ensembles-eu.org</a>
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (United Nations); FN's klimapanel. Se mere på <a href="http://www.ipcc.ch">http://www.ipcc.ch</a>
GHCN	Global Historical Climatology Network (USA)
NCDC	National Climatic Data Center (USA); NCDC er en del af National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
NAO	North Atlantic Oscillation – den nordatlantiske svingning
PRUDENCE	Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects (2001-2004) – et fælles europæisk forskningsprojekt støttet af EUs 5. rammeprogram. Se mere på <a href="http://prudence.dmi.dk">http://prudence.dmi.dk</a> .
DJF	Vintersæsonen (december, januar, februar)
MAM	Forårssæsonen (marts, april, maj)
JJA	Sommersæsonen (juni, juli, august)
SON	Efterårssæsonen (september, oktober, november)



## Referencer

- Alexander LV, Tett SFB, and Jónsson T (2005): Recent observed changes in severe storms over the United Kingdom and Iceland. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L13704, doi:10.1029/2005GL022371
- Allan RP, Soden BJ (2008): Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes. *Science*, Vol. 321 no. 5895 pp. 1481-1484, doi: 10.1126/science.1160787
- Boberg F (2010): Weighted scenario temperature and precipitation changes for Denmark using probability density functions for ENSEMBLES regional climate models. Danish Climate Centre Report 10-03, <http://www.dmi.dk/dmi/dkc10-03.pdf>
- Cappelen J (ed.) (2011a): DMI Daily Climate Data Collection 1873-2010, Denmark, The Faroe Islands and Greenland - including Air Pressure Observations 1874-2010 (WASA Data Sets). DMI Technical Report 11-06, Danish Meteorological Institute, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-06.pdf>
- Cappelen J (ed.) (2011b): DMI Monthly Climate Data Collection 1768-2010, Denmark, The Faroe Islands and Greenland. DMI Technical Report 11-05, Danish Meteorological Institute, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-05.pdf>
- Cappelen J (ed.) (2011c): DMI Annual Climate Data Collection 1873-2010, Denmark, The Faroe Islands and Greenland - with Graphics and Danish summary. DMI Technical Report 11-04, Danish Meteorological Institute, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-04.pdf>
- Cappelen, J (2011d): Danmarks klima 2010 med Tórshavn, Færøerne og Nuuk, Grønland - with English summary. DMI Teknisk rapport: 11-01, Danmarks Meteorologiske Institut, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-01.pdf>
- Cappelen, J (2011e): Ekstrem nedbør i Danmark – opgørelser og analyser foråret 2011. DMI Teknisk rapport: 11-13, Danmarks Meteorologiske Institut, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-13.pdf>
- Christensen OB, Drews M (2010): Estimer af fremtidige ekstreme nedbørshændelser i Danmark. Notat, Danmarks Meteorologiske Institut.
- Christensen JH, Boberg F, Christensen OB, Lucas-Picher P (2008): On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20709, doi:10.1029/2008GL035694
- Christensen JH, Hewitson B, Busuioc A, Chen A, Gao X, Held I, Jones R, Kolli RK, Kwon W-T, Laprise R, Magaña Rueda V, Mearns L, Menéndez CG, Räisänen J, Rinke A, Sarr A, Whetton P (2007): Regional Climate Projections, Chapter 11 in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA
- Christensen JH, Carter TR, Rummukainen M, Amanatidis G (2007): Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change*, 81 Supl. 1, 1-6, doi:10.1007/s10584-006-9211-6
- Christensen JH, Christensen OB (2003): Climate modelling: Severe summertime flooding in Europe. *Nature* 421, 805-806, doi:10.1038/421805a
- Dankers R; Hiederer, R (2008): Extreme temperatures and precipitation in Europe: Analysis of a high-resolution climate change scenario. Report from European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593





Déqué M, Somot S (2010): Weighted frequency distributions express modelling uncertainties in the ENSEMBLES regional climate experiments. *Clim Res* 44:195–209

IPCC/DMI (2008): Klimaændringer 2007: Synteserapport – sammendrag for beslutningstagere. Intergovernmental Panel on Climate Change og Danmarks Meteorologiske Institut.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

Lenderink G, van Meijgaard E (2008): Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 1, 511 - 514

Lundholm SC (2011): Ekstremværdianalyse af nedbør i Danmark 1874-2010. Teknisk rapport 11-11, Danmark Meteorologiske Institut, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-11.pdf>

Lundholm SC & Cappelen J (2011): Extreme Value Analysis of 96 Daily Series of Precipitation, Denmark 1961-2010. Technical Report 11-08, Danish Meteorological Institute, <http://www.dmi.dk/dmi/tr11-08.pdf>

Nakicenovic N, Alcamo J, Davis J, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Gruñbler A, Jung TY, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner H-H, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000): Special report on emission scenarios. A special report of Working Group III for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York

Nordic Council of Ministers (2010): Physical Climate Science since IPCC AR4 - a brief update on new findings between 2007 and April 2010. ISBN 978-92-893-2078-8

Soden BJ, Jackson DL, Ramaswamy V, Schwarzkopf MD, Huang X (2005): The radiative signature of upper tropospheric moistening. *Science* 310, 841-844

van der Linden P, Mitchell JFB (eds) (2009): ENSEMBLES: Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, United Kingdom

Wentz FJ, Ricciardulli L, Hilburn K, Mears, C (2007): How much more rain will global warming bring? *Science* 317, 233-235

Zhang, X., Zwiers, F., Hegerl, G., Lambert, F., Gillett, N., Solomon, S., Stott, P. and Nozawa, T. (2007): Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 484, 461-465

## Tidligere rapporter

Tidligere rapporter fra Danmarks Meteorologiske Institut kan findes på adressen:  
<http://www.dmi.dk/dmi/dmi-publikationer.htm>