

DMI kunderapport

Fremtidige klimaforandringer i Aarhus



Kolofon

Titel

Fremtidige klimaforandringer i Aarhus

Forfatter(e)

Kristine Skovgaard Madsen

Majken Salomon Hess

Ole Bøssing Christensen

Peter Grunnet Wang

Ansvarlig institution

Danmarks Meteorologiske Institut

Sprog

Dansk

Emneord

Ekstremer, nedbør, vandstand, klima

Versionsdato

5. juli 2016

Link til hjemmeside

www.dmi.dk

Copyright

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
1. FN's klimascenarier	7
2. Danmarks fremtidige klima	9
3. Observerede ekstreme nedbørshændelser i Aarhus	10
4. Fremtidige ekstreme nedbørshændelser i Aarhus	15
5. Observeret og fremtidig vandstands niveau i Aarhus	23
6. Ordliste	26
Referencer	27

Forord

Nærværende rapport er bestilt af Aarhus Kommune, som ønsker et forbedret videnskabelig grundlag og seneste viden om klimaforandringer. Rapporten skal understøtte beslutninger og tiltag i Aarhus Kommunes arbejde med klimatilpasning.

Rapporten har primært fokus på dataanalyser af henholdsvis den historiske og fremtidige udvikling af ekstreme nedbørshændelser og havvandstande for målestationer i Aarhusområdet og på de nyeste klimascenarier fra IPCC.

Aarhus Kommune ønsker, at data og scenarier skaleres og analyseres til at give et billede af de lokale udfordringer for Aarhus Kommune og især Aarhus by, der er udfordret af klimaforandringer som følge af beliggenheden midt i en stor ådal ved udmundingen til havet. Truslen med oversvømmelser kommer således fra skybrud, stormflod og generelt stigende havniveau og grundvandsspejl. Sidstnævnte er dog ikke omfattet af rapporten.

For definitioner af skybrud, stormflod og mange andre fagtermer se ordlisten side 27.

Sammenfatning og konklusion

Projektioner af klimaet er baseret på forskellige scenarier for drivhusgasudledning; RCP- og SRES-scenarierne.

Vurdering af klimaudviklingen af ekstremnedbør for Aarhus Kommune er baseret på det høje RCP8.5-scenarie og det middelkraftige SRES A1B-scenarie. Udviklingen af vandstand er baseret på fire RCP-scenarier. De generelle fremtidige klimaforandringer i Danmark er beskrevet med udgangspunkt i RCP2.6 og RCP8.5-scenarierne.

Ud fra det bedste tilgængelige observationsdatamateriale er ekstremnedbør i Aarhus Kommune for det nuværende klima beskrevet. Beskrivelsen består af en række indeks såsom returværdier for 10, 20, 50 og 100 års hændelser, der er beregnet på baggrund af ekstremværdianalyse og data fra perioden 1961-2014. Ligeledes er antallet af hændelser over 10 og 20 mm pr. år samt årets største døgn- og 5-døgnsum beregnet, baseret på data fra perioden 1991-2015. Resultaterne viser år til år variation, og der kan ikke udledes en trend for perioden. Derudover er en repræsentativ opgørelse lavet over antal registrerede skybrud i kommunen i perioden 1991-2015.

Udvalgte resultater for ekstremnedbør kan ses i denne oversigt:

Tabel 1 Udvalgte resultater for ekstremnedbør ved Aarhus (se også afsnit 3 og 4).

Indeks	I dag	2041-2060	2070-2099	2071-2100
	Observation	RCP8.5	A1B	RCP8.5
10 års hændelse [mm/døgn]	45	53	52	58
100 års hændelse [mm/døgn]	71	85	82	94
Skybrud [antal/25 år]	8	11	11	15
Nedbørshændelser > 10 mm [antal/år]	17	20 (19 – 22)	22 (19 – 26)	22 (20 – 24)
Nedbørshændelser > 20 mm [antal/år]	4	5 (4 – 6)	6 (5 – 7)	6 (6 – 7)
Årets største døgnsum [mm]	36	40 (38 – 42)	41 (38 – 43)	43 (40 – 46)
Årets største 5-døgnssum [mm]	60	68 (63 – 74)	70 (64 – 76)	72 (65 – 79)

Den fremtidige udvikling af nedbør i Aarhus Kommune er estimeret ud fra analyser af tilgængelige klimamodeldata, og klimafaktorer er beregnet for to scenarier. Klimafaktorerne er efterfølgende ganget med de observerede værdier for at beregne værdiernes udvikling frem til slutningen af dette århundrede. Usikkerhedsintervallerne i parentes angiver +/- en standardafvigelse mellem de

anvendte modeller, hvor det dog skal bemærkes, at de modeller, der er brugt, ikke nødvendigvis indeholder alle relevante usikkerheder.

Det skal bemærkes, at der ikke er beregnet usikkerheder på 10 års og 100 års hændelserne samt skybrud, men at der stadig er en stor usikkerhed på værdierne – endda formodentlig en større usikkerhed end for nedbørshændelser og døgnsun.

Fremtidige returværdier for 10, 20, 50 og 100 års hændelser er beregnet ved hjælp af ekstremværdianalyse. Returværdierne for RCP8.5-scenariet er generelt større end for A1B-scenariet og er næsten dobbelt så høje mod slutningen af århundredet.

Antallet af hændelser over 10 og 20 mm pr. år er estimeret til stige med henholdsvis ca. 30 og 60 % og årets største døgnsun og 5-døgnsun med ca. 20 % i slutningen af århundredet for RCP8.5-scenariet. Hyppigheden af skybrud er ligeledes estimeret til at stige med op til ca. 200 % i slutningen af århundredet for RCP8.5-scenariet. Da analysen af skybrudshyppigheden bygger på døgnsnedbør, er det plausibelt, at stigningen i hyppighed er underestimeret.

Vurderingen af den fremtidige vandstandsstigning viser, at vandstanden ved Aarhus frem til slutningen af århundredet vil stige mellem 0,0 og 0,8 meter. Tilsvarende vil vandstanden stige mellem 0,0 og 0,4 meter frem til midten af dette århundrede. Risikoen for højere vandstandsstigning er vurderet i et nyt studie af Grindsted et al. (2015), som viser, at vandstanden med mindre end 5 % risiko vil stige 1,6 meter for perioden 2000-2100. Dette nye studie kan betragtes som en opdatering af DMI's vurdering af et øvre bud for vandstandsstigningen ved Aarhus.

Tabel 2 Resultater for fremtidige vandstandsstigninger ved Aarhus (se også afsnit 5).

År	Scenarie	Bedste estimat (meter)	Sandsynligt interval (meter)	95 % percentil (meter)
1986-2005 til 2046-2065	RCP2.6 (IPCC)	0,1	0,0 – 0,3	
	RCP4.5 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,3	
	RCP6.0 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,3	
	RCP8.5 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,4	
1986-2005 til 2081-2100	RCP2.6 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,5	
	RCP4.5 (IPCC)	0,3	0,1 – 0,6	
	RCP6.0 (IPCC)	0,3	0,1 – 0,6	
	RCP8.5 (IPCC)	0,5	0,2 – 0,8	
2000 til 2100	RCP8.5 (Grinsted et al. 2015)	0,6	0,4 – 1,0	1,6

Vandstandsstigningen vil tilsvarende øge den maksimale vandstand ved stormfloder og har stor betydning for returperioden for forhøjet vandstand. En vandstandsstigning på 0,3 meter i slutningen af århundredet vil betyde, at en stormflodshændelse, der i dag optræder i gennemsnit hvert 100. år, vil forekomme hvert ca. 8. år.

1. FN's klimascenarier

Denne rapport indeholder projektioner af klimaet baseret på de såkaldte RCP scenarier og SRES A1B scenariet. Her følger en kort beskrivelse af scenarierne.

1.1 Scenarier for drivhusgasudledning

IPCC's 5. hovedrapport (Stocker et al., 2013, herefter "IPCC rapporten") anvender 4 scenarier, der betegnes RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5 (Moss et al., 2010). RCP-tallene angiver strålingspåvirkningen i watt per kvadratmeter ved slutningen af århundredet, sammenlignet med situationen før den industrielle revolution, og er et mål for, hvor meget klimaet påvirkes af en øget koncentration af drivhusgasser.

Det lave RCP2.6-scenarie kan opnås ved en kraftig reduktion af udledningerne af drivhusgasser og giver en *sandsynlig chance* for at møde 2-graders målet for global temperaturstigning. Det høje RCP8.5 scenarie har meget høje drivhusgasudledninger, mens de middelhøje RCP4.5 og RCP6.0 scenarier begge repræsenterer to forskellige reduktionsscenarier.

Drivhusgasudledningerne følger i dag det høje RCP8.5 scenarie, der vil medføre en global temperaturstigning i forhold til det førindustrielle niveau på ca. 4 grader i slutningen af dette århundrede.

Inden 5. hovedrapport anvendte IPCC en række andre udledningsscenarier (SRES-scenarier), herunder A1B scenariet. I forhold til ændringen af den globale middeltemperatur og middelvandstand ligger A1B scenariet mellem RCP6.0 og RCP8.5 scenarierne. Det skal bemærkes, at IPCC's 4. hovedrapport, der anvendte A1B scenariet, vurderede fremtidige vandstandsstigninger anderledes, blandt andet idet vandstandsstigningen fra gletsjerafsmeltning blev udeladt på grund af meget stor usikkerhed. Derfor vil ældre estimater af vandstandsstigningen for A1B scenariet ofte ligge mellem de nuværende RCP2.6 og RCP4.5 scenarier. I denne rapport forholder vi os kun til RCP-scenarierne for vandstand.

Faktaboks: Sandsynligt interval

De fremtidige projektioner af vores klima er alle behæftet med unøjagtigheder. IPCC definerer ordet *sandsynligt* til mindst 66 % sandsynlighed. Det *sandsynlige interval* er derfor det interval hvor der er mindst 66 % sandsynlighed for at værdien ligger i intervallet og højst 17 % sandsynlighed for at ligge under og højst 17 % sandsynlighed for at ligge over. Det sandsynlige interval svarer omtrent til en standardafvigelse.

Tabel 3 Oversigt over RCP-scenarierne og A1B-scenariet mht. global opvarmning (°C) i slutningen af dette århundrede i forhold til referenceperioden 1986-2005 for RCP-scenarierne og referenceperioden 1961-1990 for A1B (efter Olesen et al. 2014 og IPCC, 2007).

År	Scenarie	Bedste estimat (grader)	Sandsynligt interval (grader)
1986-2005 til 2081-2100	RCP2.6	1,0	0,3 – 1,7
	RCP4.5	1,8	1,1 – 2,6
	RCP6.0	2,2	1,4 – 3,1
	RCP8.5	3,7	2,6 – 4,8
1980-1999 til 2090-2099	A1B	2,8	1,7 – 4,4

1.2 Referenceperioder

I denne rapport anvendes data fra 4 forskellige kilder, der alle anvender forskellige referenceperioder. Gennem hele rapporten er de relevante referenceperioder nævnt. Den primære kilde, IPCC's 5. hovedrapport, anvender referenceperioden 1986-2005. Enkelte tal for A1B scenariet er fra IPCC's 4. hovedrapport, der anvender referenceperioden 1980-1999. For de regionale tal for fremtidig nedbør er desuden anvendt data fra ENSEMBLES projektet, der anvender referenceperioden 1961-1990 og fra CORDEX arkivet, hvor den anvendte referenceperiode er 1971-2000. Nedbør er et felt med meget stor variabilitet, og derfor skønnes referenceperioden ikke at være afgørende i denne sammenhæng. Vandstanden i Aarhus Havn er steget 1,1 cm mellem 1980-1999 og 1986-2005.

2. Danmarks fremtidige klima

Den globale opvarmning er i fuld gang, og klimaforandringerne kan også ses i Danmark. Her følger en kort beskrivelse af udviklingen i Danmark med hensyn til temperatur, nedbør og havniveau som beskrevet i Olesen et al. (2014).

2.1 Temperatur

Den observerede temperaturudvikling i Danmark følger i store træk den globale opvarmning. I slutningen af dette århundrede (2081-2100) forventes en temperaturstigning i Danmark på omkring $1,2\text{ °C} \pm 0,8\text{ °C}$ om sommeren og $1,2\text{ °C} \pm 0,7\text{ °C}$ om vinteren i forhold til referenceperioden 1986-2005 for RCP2.6-scenariet. Tilsvarende forventes en opvarmning på henholdsvis $4,0\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$ og $3,7\text{ °C} \pm 0,9\text{ °C}$ for sommer og vinter for RCP8.5 scenariet.

2.2 Nedbør

Den gennemsnitlige årlige nedbør i Danmark har været tiltagende siden midten af sidste århundrede, og dette forventes at fortsætte i løbet af dette århundrede. I løbet af de seneste 150 år er den årlige nedbør steget med omkring 100 mm.

Den årlige nedbør vil stige med $1,6\% \pm 4,6\%$ for RCP2.6 og $6,9\% \pm 6,1\%$ for RCP8.5 i slutningen af århundredet (2081-2100) i forhold til referenceperioden 1986-2005 (Olesen et al. 2014).

Vi kan forvente flere kraftige nedbørshændelser om sommeren på trods af, at somrene sandsynligvis bliver mere tørre over store dele af det europæiske kontinent. De kraftigste nedbørshændelser kan også forventes at blive endnu kraftigere.

2.3 Havniveau

Den observerede vandstand ved alle danske kyster undtagen i Nordjylland er stigende, og stigningerne forventes at blive kraftigere i de næste 100 år på grund af igangværende og fremtidige klimaforandringer.

Forskellene på den observerede vandstand i forskellige dele af landet skyldes primært landhævning, og når der er korrigeret for denne, viser alle målestationer med lange tidsserier, at vandstanden er steget i gennemsnit $1,7\text{-}2,2 \pm 0,3\text{ mm/år}$ omkring Danmark. Det er meget tæt på det globale gennemsnit.

Med udgangspunkt i IPCC-rapporten forventes vandstanden omkring Danmark at stige 0,1-0,6 m for RCP2.6-scenariet, 0,2-0,7 m for RCP4.5 og RCP6.0 scenarie og 0,3-0,9 m for RCP8.5. Tallene gælder for slutningen af århundredet (2081-2100) i forhold til referenceperioden 1986-2005 og skal korrigeres for landhævning.

I de følgende afsnit zoomer vi ind på udviklingen af henholdsvis nedbør og havniveau i Aarhus Kommune med fokus på specifikke indeks, der er nyttige som input i planlægningen af klimatilpasningstiltag. Vi forholder os her udelukkende til klimaforandringer frem mod slutningen af dette århundrede, selvom tidsperspektivet efter år 2100 også må anses for at være vigtigt.

3. Observerede ekstreme nedbørshændelser i Aarhus

I dette afsnit beskrives ekstrem nedbør i Aarhus ud fra observationer. Afsnittet sigter mod at belyse niveauet for nedbørhændelserne over de sidste 35 år. Perioden er valgt ud fra det tilgængelige datagrundlag. Omkring 1990 blev DMIs nedbørnet moderniseret og opdateret, hvorfor perioden 1991–2015 er valgt for de fleste parametre.

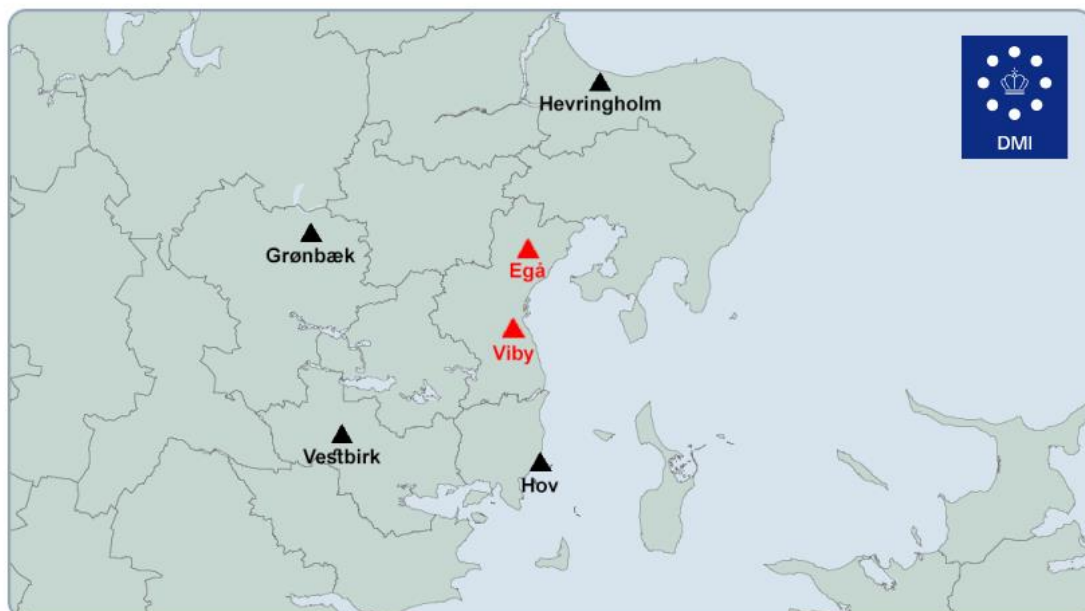
Afsnittet indeholder analyser for:

- returværdier for døgnnedbør i perioden 1961 – september 2014
- antal hændelser over henholdsvis 10 og 20 mm pr. døgn i perioden 1991-2015
- årets største døgn- og 5-døgnssum i perioden 1991-2015
- forekomsten af skybrud i perioden 1991-2015

3.1 Returværdier

Ekstremværdier for nedbør er beregnet på baggrund af data fra perioden 1961 – september 2014 i Cappelen & Wang (2014), som også indeholder ekstremværdier for en række danske målestationer. For at foretage ekstremværdi-analysen skal observationsserierne fra målestationerne opfylde en række statistiske krav, og DMI råder ikke over stationer i Århus kommune, hvor disse krav er opfyldt.

Der er derfor taget udgangspunkt i fire stationer, der er placeret i umiddelbar nærhed af Aarhus, som angivet på kortet neden for (figur 1). Dette giver det bedste grundlag for at vurdere returværdier i Århus Kommune. To af stationerne er placeret ved kysten og to indenlands og giver tilsammen et godt og repræsentativt billede af, hvordan returperioderne fordeler sig.



Figur 1 Placering af de 4 stationer i nærheden af Aarhus, hvorfra data til beregning af returværdier stammer (sort). Figuren viser også de to stationer i Aarhus, Egå og Viby, hvorfra antallet af skybrud er opgivet i afsnit 3.4 (rød).

DMI's interpolationsrutine er benyttet for at interpolere til kommunens polygon, hvormed observationerne fra de enkelte stationer bl.a. bliver vægtet i forhold til afstand til kommunen. Det underliggende grid er 1x1 km. De beregnede returværdier for Aarhus Kommune er vist i tabel 4.

Tabel 4 Beregnede returværdier for døgnedbør i Aarhus Kommune.

Hændelse	10-års (mm)	20-års (mm)	50-års (mm)	100-års (mm)
Aarhus Kommune	45	52	63	71

Resultaterne viser dermed, at der med nuværende klimatiske forhold hvert 10. år må forventes at være et døgn med 45 mm nedbør, hvert 20. år et døgn med 52 mm, hvert 50. år et døgn med 63 mm og hvert 100. år et døgn med 71 mm nedbør.

3.2 Antal nedbørshændelser over 10 og 20 mm

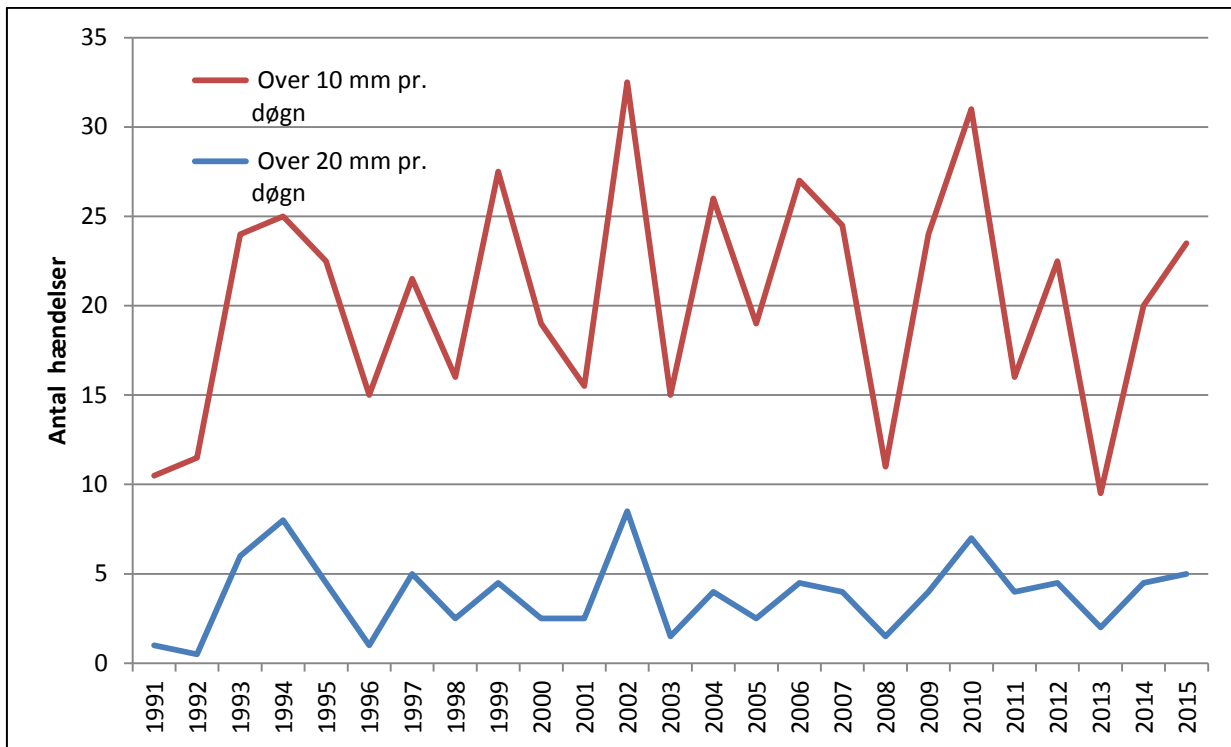
En opgørelse over antal nedbørshændelser stiller ikke samme krav til måleserierne som ekstremværdianalyse, hvorfor serier inden for Aarhus Kommune kan benyttes her, modsat i afsnit 3.1.

Antallet af årlige nedbørshændelser med døgnedbør større end henholdsvis 10 og 20 mm er beregnet ved at medtage data fra nedbørstationer inden for Aarhus Kommune med data i perioden 1991–2015. Ved at se på tilgængeligt data i perioden er dannet to sammensatte serier, der dermed er komplette og dækker hele perioden.

Tabel 5 Gennemsnitlige antal årlige nedbørshændelser over 10 og 20 mm i Aarhus Kommune.

Antal årlige hændelser	> 10 mm	> 20 mm
Aarhus Kommune	17	4

Resultatet i tabel 5 viser, at der med nuværende klimatiske forhold i gennemsnit er 17 dage om året med mere end 10 mm nedbør, og at der i gennemsnit er 4 dage om året med mere end 20 mm nedbør i Aarhus Kommune. Udvikling i perioden er vist i figur 2.



Figur 2 Antal hændelser pr. år med nedbør hhv. over 10 og 20 mm i Aarhus Kommune i perioden 1991 - 2015.

3.3 Største døgnsum og 5-døgnsum

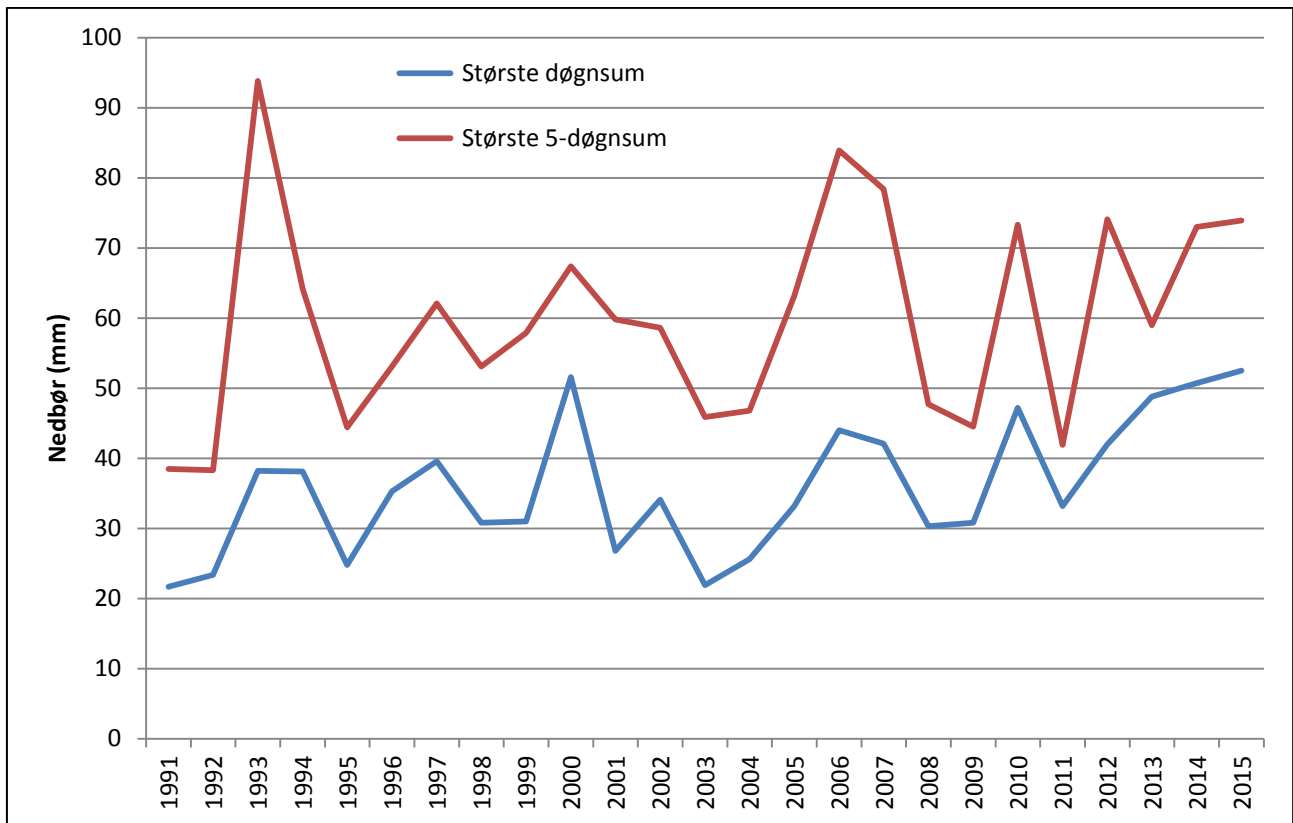
Ud fra samme datamateriale, som beskrevet i afsnit 3.2, er største døgnsum og 5-døgnsum identificeret for hvert enkelt år i perioden 1991-2015. Årets største døgnsum varierer mellem 22 og 53 mm (tabel 6). Årets største 5-døgnsum varierer mellem 38 og 94 mm (tabel 6).

Resultaterne giver et godt billede af den typiske variation fra år til år i Aarhus kommune, men der kan ikke udledes trends i størrelsen af hændelserne, da udviklingen i perioden ikke er statistisk signifikant.

Tabel 6 Største døgnsum og største 5-døgnssum i Aarhus i perioden 1991-2015.

År	Største døgnsum (mm)	Største 5-døgnssum (mm)
1991	22	39
1992	23	38
1993	38	94
1994	38	64
1995	25	44
1996	35	53
1997	40	62
1998	31	53
1999	31	58
2000	52	67
2001	27	60
2002	34	59
2003	22	46
2004	26	47
2005	33	63
2006	44	84
2007	42	78
2008	30	48
2009	31	45
2010	47	73
2011	33	42
2012	42	74
2013	49	59
2014	51	73
2015	53	74
Maksimum	53 mm i år 2015	94 mm i år 1993
Gennemsnit	36 mm	60 mm
Minimum	22 mm i år 1991	38 mm i år 1992

Udviklingen inden for perioden kan ses i figur 3 på næste side.



Figur 3 Årets største døgns- og 5-døgns- i Aarhus Kommune i perioden 1991 – 2015.

3.4 Skybrud

Forekomsten af skybrud i Aarhus er vurderet ud fra to udvalgte målestationer i kommunen med bedst datamateriale (Viby J. Renseanlæg samt Egå Renseanlæg). Her er registreret henholdsvis 8 skybrud i perioden 1.1.1991 til 31.12.2015 for Viby og 9 for Egå. Intensiteten for de enkelte skybrud var mellem 15 og 24 mm pr. 30 min (tabel 7).

Tabel 7 Intensitet af og dato for skybrud for de to stationer Viby og Egå i Aarhus i perioden 1991-2015.

Dato	Viby Max intensitet (mm / 30min)	Dato	Egå Max intensitet (mm / 30min)
24.08.1997	15	24.08.1997	15
12.09.2000	18	12.08.2002	18
28.07.2006	18	07.08.2005	16
12.08.2006	17	01.08.2006	19
31.08.2010	16	12.08.2006	19
22.08.2012	15	25.06.2007	18
25.06.2014	18	22.08.2012	15
05.05.2015	19	26.08.2012	24
		05.05.2015	17

Når antallet af skybrud skal vurderes for et areal, vil optællingen afhænge direkte af antallet af

nedbørmålere og deres geografiske spredning. Jo flere målere, der stilles op i en kommune, jo flere skybrud vil registreres.

Det betyder, at hvis man vil sammenligne områder ift. antallet af skybrud baseret på målestationer, skal stationsantallet og den geografiske spredning være sammenlignelig.

Opgørelsen overfor baserer sig på to repræsentative serier for kommunen og kan sammenlignes med andre opgørelser baseret på enkelte måleserier.

Ovenstående problemstilling er netop årsagen til, at man ofte arbejder med ekstremværdianalyse fra repræsentative måleserier, der opfylder statistiske krav. Se bl.a. Cappelen, J. og Grunnet Wang, P. (2014).

Faktaboks: Nedbøren i Aarhus

Nedbørfordelingen i Jylland er i høj grad bestemt af frontpassager fra vest- og sydvestlige retninger (advektiv nedbør). Når fronterne rammer den jyske vestkyst tvinges luftmasserne opad, dels grundet landets højde, dels grundet skiftet fra den glatte havoverflade til den ru landoverflade, der bremser vinden. Den opadgående strømning afkøler luften, hvorved fugten fortættes og dannelsen af nedbør forstærkes.

Når fronterne nærmer sig den jyske østkyst, sker den modsatte proces, hvorfor dannelsen af nedbør reduceres.

Det betyder, at de højeste årssummer optræder i det centrale Jylland (> 950 mm for perioden 2001-2010), mens f.eks. Aarhus på østkysten så at sige ligger lidt i læ og modtager noget mindre nedbør, nemlig omkring 730 mm på årsbasis (for perioden 2001-2010).

For hele Danmark faldt der i gennemsnit 768 mm nedbør på årsbasis i samme periode.

4. Fremtidige ekstreme nedbørshændelser i Aarhus

I dette afsnit beskrives den estimerede, fremtidige udvikling af ekstrem nedbør i Aarhus, baseret på tilgængelige resultater fra regionale klimamodeller.

I analysen nedenfor er klimaforandringer for hele Danmark beregnet, men de specifikke observerede nedbørsstatistikker for Aarhus fra afsnit 3 er brugt til at bestemme klimaforandringernes effekt på de enkelte indeks for nedbør i Aarhus.

Faktaboks: Datagrundlag fra klimamodeller

To sæt af simuleringer er blevet benyttet til analysen af den fremtidige nedbørsudvikling: ENSEMBLES-datasættet og CORDEX-datasættet.

ENSEMBLES-datasættet består af 13 simuleringer over Europa med et beregningsgitter på ca. 25 km. Perioden 1961-2099 er simuleret for A1B scenariet, som er et middelkraftigt scenarie med en global opvarmning på 3,1 grader mellem fremtidsperioden 2070-2099 og nutidsperioden 1961-1990. Disse simuleringer er beskrevet i Kjellström et al. (2010).

CORDEX-datasættet består af 9 simuleringer over et tilsvarende område, men med et finere beregningsgitter på ca. 12 km. Disse simuleringer følger RCP8.5 scenariet. Den tilgængelige periode på rapportskrivningstidspunktet er 1971-2000 og 2011-2100. Vi har derfor valgt at bruge 1971-2000 som referenceperiode i dette tilfælde, idet klimaet ikke forventes at have ændret sig mærkbart mellem de to referenceperioder 1961-1990 og 1971-2000. Bemærk, at vi har valgt 30-årsperioder i stedet for 20-årsperioder for at reducere den statistiske støj på de sjældne nedbørsbegivenheder, denne rapport forholder sig til. Simuleringerne er beskrevet i Jacob et al., (2014).

4.1 Klimafaktorer for returværdier

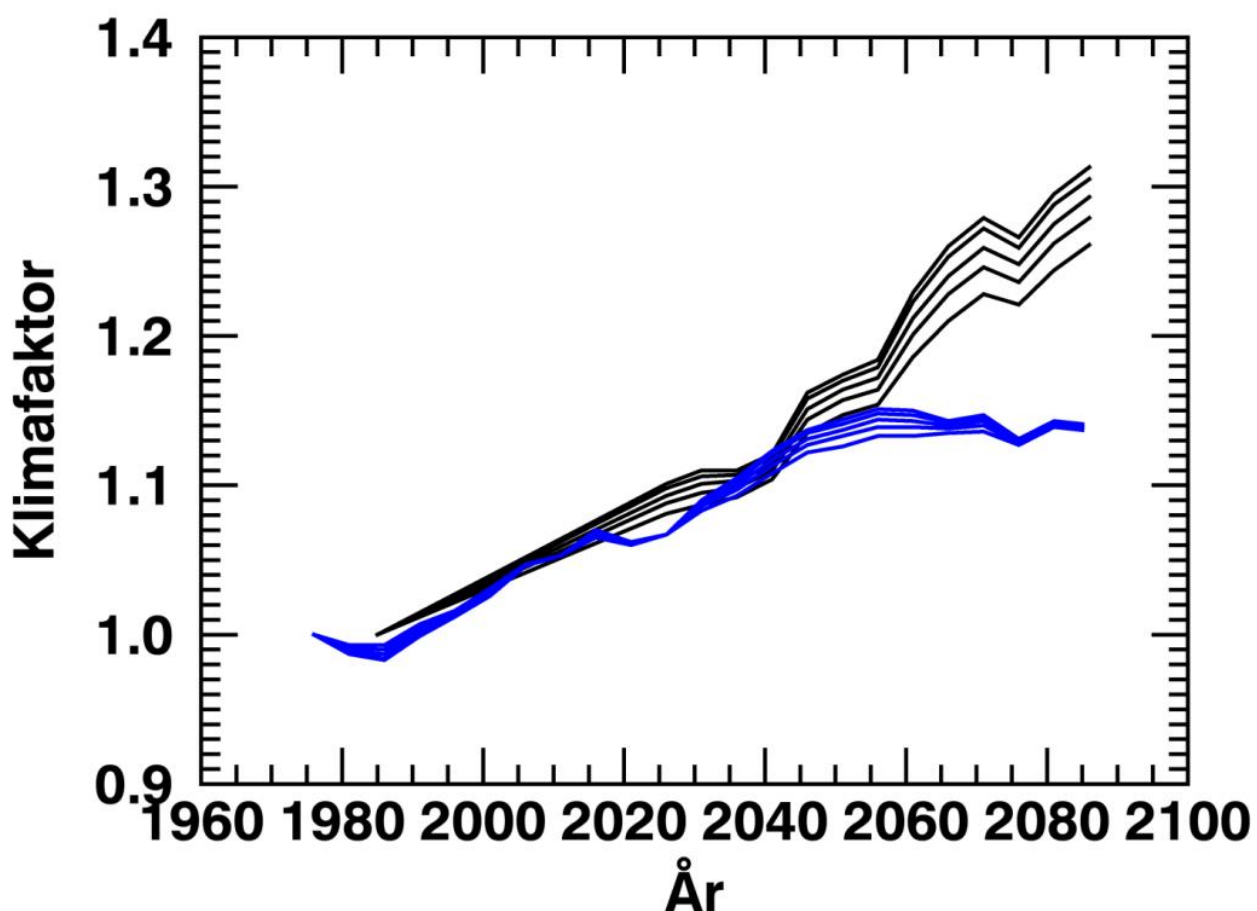
Simulerede nedbørsværdier er beregnet som mm/dag over en 25x25 km gitterboks for A1B scenariet og en 12x12 km gitterboks for RCP8.5 scenariet. Disse værdier vil derfor være noget mindre end stationsbaserede returværdier. De simulerede nedbørsværdier er derfor omsat til klimafaktorer. Klimafaktorerne er defineret som de tal, der kan ganges på observationer fra nutiden for at få et estimat af nedbørsværdier i fremtiden. For at illustrere effekten vises også tabeller, hvor observerede nutidsværdier fra afsnit 3 ganges på klimafaktorerne.

På trods af at der er brugt data fra mange simuleringer og fra mange punkter over Danmark, er det stadig et støjfyldt billede, vi ser. På figur 4 vises klimafaktorerne for de nævnte returperioder fra 5 år til 100 års returperioder. Sorte linjer svarer til RCP8.5 simuleringerne, mens blå linjer svarer til A1B. Det ses, at det kraftigste scenarie har den største klimæændring mod slutningen af århundredet, men den specifikke form af kurverne er også påvirket af statistiske fluktuationer.

Faktaboks: Ekstremværdianalyse - Gumbelfunktion

Klimamodelldataene er analyseret for ekstremregn. For hver simulering er der tilnærmet en såkaldt Gumbelfunktion til de 30 årsmaksima for det givne punkt og den givne periode. Denne funktion er en ekstremværdifunktion, der forventes at være en god tilnærmelse til netop en samling af tidsmæssigt ukorrelerede årsmaksima for f.eks. nedbør.

Efter at der er fundet Gumbel-parametre for hvert punkt, er disse parametre midlet over modellernes landpunkter over Danmark. Det skal bemærkes, at der er for meget statistisk støj i disse parametre til, at det er muligt at identificere regionale variationer. Da parameterberegningen er en simpel lineær regression på de nævnte 30 årsmaksima, vil fordelingen med middelparametrene også svare til midlet af sorterede årsmaksima; med andre ord: det vil ikke beskrive f.eks. 100-årsværdien af dansk middelnedbør, men midlet af 100-årsværdier over Danmark, uanset om begivenheden forekommer samtidig alle steder i landet.



Figur 4 Klimafaktorer for forskellige returværdier af døgnnedbør beregnet for løbende 30-årsperioder adskilt af 5 år; x-værdien er det centrale år i perioden. Blå kurver: 13 A1B simuleringer. Sorte kurver: 9 RCP8.5 simuleringer. For hvert scenarie svarer den nederste kurve til 5-årsværdier, stigende til 100-årsværdier som den højeste af de 5 kurver. Se også tabel 8 og 9.

Tabel 8 og 9 angiver beregnede klimafaktorer for returværdier for daglig nedbør for forskellige returperioder for 30-årsperioder centreret på årene i venstre kolonne.

Klimafaktorerne i tabel 8 er beregnet ud fra simuleringer for 1961-2099, så perioderne er 1961-1990 for den første række, derefter forskudt med 5 år pr. række. Dog er sidste periode kun forskubbet med 4 år. Tilsvarende klimafaktorer i forhold til 1971-2000 for RCP8.5 findes i tabel 9.

Tabel 8 Klimafaktorer for returværdier for A1B scenariet baseret på ENSEMBLES simuleringer.

År	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år
1976	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1981	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1986	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98
1991	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
1996	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01
2001	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
2006	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
2011	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
2016	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2021	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
2026	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2031	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09
2036	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11
2041	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12
2046	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14
2051	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14
2056	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15
2061	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15
2066	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
2071	1,14	1,14	1,14	1,15	1,15
2076	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
2081	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
2085	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14

Udviklingen af returværdier for Aarhus

Klimafaktorerne fra henholdsvis tabel 8 (for A1B-scenariet) og 9 (for RCP8.5-scenariet) ganges på de beregnede returværdier for Aarhus Kommune angivet i tabel 4 for at bestemme den forventede fremtidige udvikling af returværdier for de efterspurgte returperioder. Resultaterne ses i henholdsvis tabel 9 og 10.

Tabel 9 Klimafaktorer for returværdier for RCP8.5 scenariet baseret på CORDEX simuleringer.

År	5 år	10 år	20 år	50 år	100 år
1986	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2026	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10
2031	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11
2036	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11
2041	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12
2046	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16
2051	1,15	1,16	1,16	1,17	1,17
2056	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18
2061	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
2066	1,21	1,23	1,24	1,25	1,26
2071	1,23	1,25	1,26	1,27	1,28
2076	1,22	1,24	1,25	1,26	1,27
2081	1,24	1,26	1,28	1,29	1,30
2086	1,26	1,28	1,29	1,31	1,31

Tabel 10 Returværdier anført i mm/døgn, hvor middelværdien af faktoren for 1961-2015 er sat til at svare til stationsværdierne for Aarhus Kommune fra tabel 4 i afsnit 3. Returværdier er baseret på klimafaktorerne for A1B-scenariet fra tabel 8.

År	10 år	20 år	50 år	100 år
1976	45	52	63	72
1981	45	52	62	71
1986	45	52	62	70
1991	46	52	63	71
1996	46	53	63	72
2001	47	54	64	73
2006	47	55	66	75
2011	48	55	66	75
2016	48	56	67	77
2021	48	55	67	76
2026	48	56	67	76
2031	49	57	68	78
2036	50	57	69	79
2041	50	58	70	80
2046	51	59	71	81
2051	51	59	71	82
2056	52	60	72	82
2061	52	60	72	82
2066	52	60	72	82
2071	52	60	72	82
2076	51	59	71	81
2081	52	60	72	82
2085	52	60	71	82

Tabel 11 Returnverdier anført i mm/døgn og normaliseret, så perioden 1971-2000 svarer til værdierne fra tabel 4 i afsnit 3 for Aarhus Kommune. Returnverdierne er baseret på klimafaktorerne for RCP8.5-scenariet fra tabel 9. Bemærk, at vi ikke har modellerede data for 1961-2015. Det skønnes acceptabelt, da modellerede perioder kun svarer til det faktiske klima gennem at have de samme drivhusgaskoncentrationer.

År	10 år	20 år	50 år	100 år
1986	45	52	63	71
2026	49	57	69	79
2031	50	58	69	79
2036	50	58	69	79
2041	50	58	70	80
2046	52	60	73	83
2051	53	61	73	84
2056	53	61	74	85
2061	55	63	77	88
2066	56	65	78	90
2071	57	66	80	91
2076	56	65	79	90
2081	57	67	81	93
2086	58	68	82	94

Resultaterne viser, at RCP8.5-scenariet giver kraftigere ekstreme end A1B-scenariet. Stigningen i returnverdierne baseret på RCP8.5-scenariet stiger næsten dobbelt så meget mod slutningen af århundredet.

Andre indeks for ekstrem nedbør

Den fremtidige udvikling af de følgende indeks (afsnit 4.2-4.5) er alle beregnet ud fra døgnnedbørsdata for gitterpunkter for de respektive perioder, 2041-2070 samt 2071-2100 (dog 2070-2099 for A1B). Resultater fra midten af århundredet er beregnet med basis i de nyere og højere opløste RCP8.5 simuleringer. De samlede resultater er angivet i tabel 12.

Absolutte resultater er anført som værdier baseret på de observerede værdier for Aarhus Kommune i tabel 13. Intervallerne nedenfor angiver usikkerheden som ± 1 standardafvigelse.

4.2 Udviklingen af årets største døgnsum

Den fremtidige udvikling af årets største døgnsum er fundet ved at beregne udviklingen af 1 års returnverdierne (dvs. den mængde af døgnnedbør, der statistisk set indtræffer én gang om året). For både A1B og RCP8.5 simuleringerne er gennemsnittet af 1-års returnverdierne af døgnnedbør beregnet, som de er simuleret for hvert punkt (den 30.-største værdi på en 30-årig simulering), og gennemsnittet over de danske landpunkter er taget.

Ændringerne i 1 års returnverdierne er, som angivet i tabel 12, på 5-20 % i slutningen af århundredet for A1B og på 5-17 % for 2041-2070 og 11-29 % for RCP8.5.

Man kan kigge "på den anden led" og spørge, hvad hyppigheden i fremtiden kunne være for den mængde nedbør, der er en 1-årshændelse nu. Svaret på det er $1,4 \pm 0,3$ pr. år for midten af århundredet (2041-2070 iflg. RCP8.5), $1,6 \pm 0,3$ for slutningen af århundredet ifølge A1B-scenariet og $1,8 \pm 0,4$ givenheder pr. år for slutningen af århundredet ifølge RCP8.5.

4.3 Udviklingen af årets største 5-døgnssum

Udviklingen af årets største 5-døgnssum er beregnet på samme måde som årets største døgnsum (se afsnit 4.2). For statistikken af 5-døgns nedbørssummer er resultaterne ikke meget forskellige fra statistikken for døgnnedbør: 5-23 % stigning midt i århundredet og 9-31 % stigning i slutningen af århundredet efter RCP8.5 samt 6-26 % stigning efter A1B scenariet.

4.4 Udviklingen i hændelser over 10 og 20 mm

Det kan være problematisk kun at kigge på modelresultater over 10 eller 20 mm, hvis man er interesseret i, hvor ofte en station i fremtiden vil måle mere end 10 eller 20 mm nedbør, da modelresultaterne svarer til gennemsnitsnedbøren over en hel gitterboks på 12x12 km eller 25x25 km.

Derfor kigger vi i stedet på de hændelser, der i det simulerede nutidsklima forekommer med samme hyppighed som de observerede hændelser, for derefter at bestemme hyppigheden af disse modelværdier i de tilsvarende fremtidssimuleringer. Dette gøres for hver enkelt model, da modellerne har forskellige systematiske fejl i nedbøren.

Faktorer svarende til ændringen i hyppigheder er angivet i tabel 12.

Hændelser over 10 mm

Døgnnedbør over 10 mm forekommer i dag ca. 17 gange om året (se afsnit 3.2). De simuleringer, der følger scenariet RCP8.5 viser, at den gennemsnitlige hyppighed af den nedbørsmængde, der i nutidsperioden 1971-2000 forekom 17 gange om året stiger til 18-22 gange om året for perioden 2041-2070 og 20-24 for 2071-2100. A1B-simuleringerne resulterer tilsvarende i en øget hyppighed til 19-23 gange om året for slutningen af århundredet.

Hændelser over 20 mm

Hyppigheden af nedbør over 20 mm/dag er 4 gange om året for de undersøgte stationsdata (se afsnit 3.2). For RCP8.5-modeldata vil den nedbørsmængde, som i nutidsperioden falder 4 gange om året, i 2041-2070 forekomme 4-6 gange om året. For slutningen af århundredet, 2071-2100, er resultatet 5-7 gange om året. Den tilsvarende beregning for A1B giver også 5-7 for slutningen af århundredet.

4.5 Udviklingen i skybrud

For at estimere hvor ofte skybrud vil forekomme i Aarhus i fremtiden, benyttes samme fremgangsmåde som for hændelser over 10 og 20 mm (se afsnit 4.4). Sandsynligheden for skybrud i fremtiden kan nemlig ikke direkte tages fra modellerne. Primært fordi de værdier, modellerne kan angive, repræsenterer gitterpunktmiddelværdier.

Sandsynligheden for skybrud i Aarhus i dag er ca. 7 begivenheder på 25 år, som angivet i afsnit 3.4. A1B-simuleringerne viser, at udviklingen af den modelnedbør, der forekommer $7/25=0,28$ gange om året, bliver til 0,21-0,51 for perioden 2070-2099. Tilsvarende fås 0,21-0,55 for perioden 2041-2070 og 0,40-0,74 for slutningen af århundredet for RCP8.5. Ifølge disse simuleringer kan der med andre ord forventes 11 af den slags begivenheder på 25 år midt i århundredet og 14 begivenheder på 25 år sidst i århundredet.

Det er vigtigt at bemærke, at denne analyse bygger på døgnnedbør, da en specifik analyse af data med højere tidsopløsning er for omfattende. Der er imidlertid blevet foretaget en analyse af varighedsafhængigheden af klimænderinger i Sørup et al. (2015); resultaterne indikerer en tendens til, at der er større forøgelse af ekstremer af kort varighed end af ekstremer af lang varighed. Derfor er det plausibelt, at de faktiske fremtidige ændringer i skybrudshyppigheden vil være større end beregnet her.

Tabel 12 Klimafaktorer for fem indeksbaseret på klimamodelsimuleringer af RCP8.5 og A1B. Den angivne usikkerhed er en standardafvigelse mellem de tilgængelige modelsimuleringer.

Indeks	2041-2070 RCP8.5		2070-2099 A1B		2071-2100 RCP8.5	
	Bedste estimat	Usikkerhed	Bedste estimat	Usikkerhed	Bedste estimat	Usikkerhed
Største døgnsum	1,11	1,05 – 1,17	1,14	1,05 -1,2	1,20	1,11 - 1,29
Største 5-døgnssum	1,14	1,05 - 1,23	1,16	1,06 - 1,26	1,20	1,09 - 1,31
Hændelser over 10mm	1,2	1,1 - 1,3	1,3	1,1 -1,5	1,3	1,2 - 1,4
Hændelser over 20mm	1,3	1,1 - 1,5	1,5	1,3 - 1,7	1,6	1,4 - 1,8
Hyppighed af skybrud	1,5	1,1 - 1,9	1,6	1,1 - 2,1	2,1	1,5 - 2,7

Klimafaktorerne for de fem indeks fra tabel 12 ganges på de tilsvarende observerede værdi for Aarhus Kommune i afsnit 3 for at bestemme den forventede fremtidige udvikling. Resultaterne ses i tabel 13.

Tabel 13 Værdier for fem indeks for midten og slutningen af århundredet baseret på de observerede værdi for Aarhus og beregnede klimafaktorer for henholdsvis RCP8.5 og A1B-scenariet.

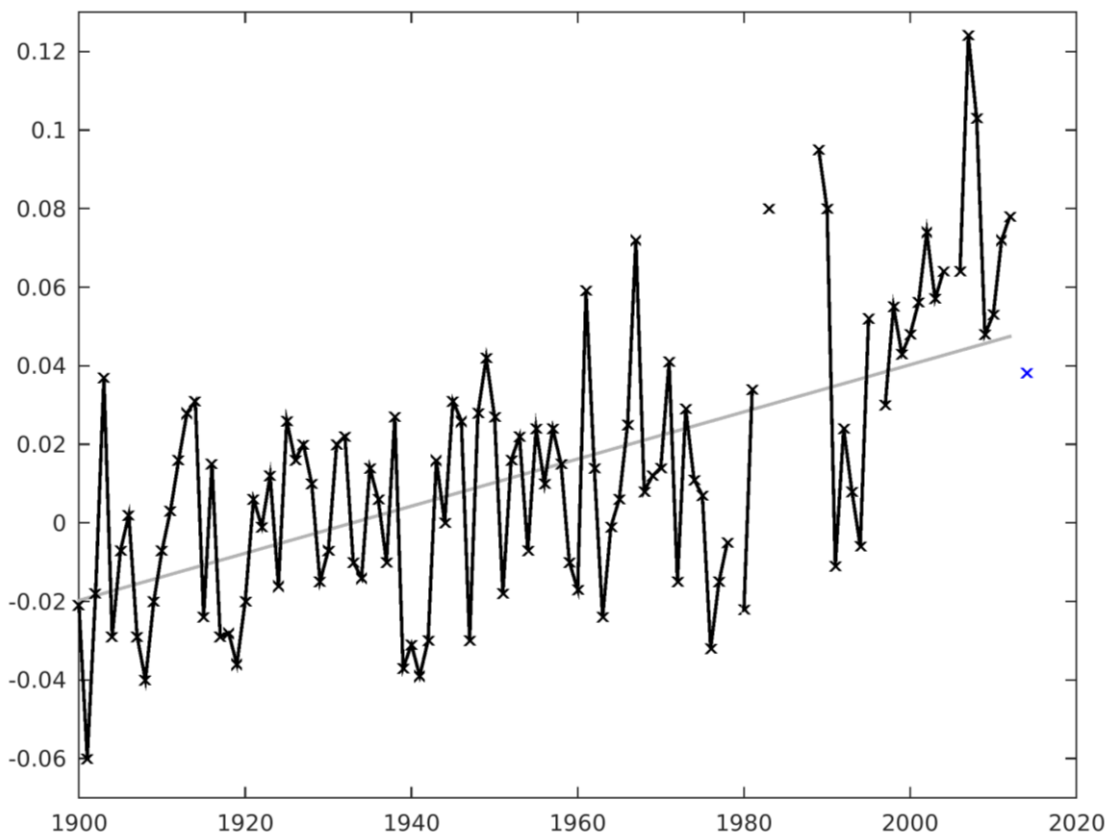
Indeks	2041-2070 RCP8.5		2070-2099 A1B		2071-2100 RCP8.5	
	Bedste estimat	Usikkerhed	Bedste estimat	Usikkerhed	Bedste estimat	Usikkerhed
Største døgnsum (mm/døgn)	40	38 - 42	41	38 - 43	43	40 - 46
Største 5-døgnssum (mm/døgn)	68	63 - 74	70	64 - 76	72	65 - 79
Hændelser over 10mm (antal/år)	20	19 - 22	22	19 - 26	22	20 - 24
Hændelser over 20mm (antal/år)	5	4 - 6	6	5 - 7	6	6 - 7
Hyppighed af skybrud (antal/25 år)	11	8 - 13	11	8 - 15	15	11 - 19

5. Observeret og fremtidig vandstands niveau i Aarhus

Vandstanden i verdenshavene er stigende, og det kan også måles omkring Danmark. I Danmark kompenseres stigningerne dog delvist af landhævning. Landhævningen er mindst i sydvest og størst i Nordjylland, mens landhævningen ved Aarhus ligger tæt på landsgennemsnittet. Landhævningen ved vandstandsmåleren i Aarhus Havn er $1,3 \pm 0,3$ mm/år, eller $0,13 \pm 0,03$ meter på 100 år (Per Knudsen, DTU Space, pers. kom 2015). I det følgende er denne overordnede landhævning indbereget.

5.1 Observeret vandstandsstigning ved Aarhus

Den observerede årlige middelvandstand målt i Aarhus Havn (stationsnr. 22331/22332) har været stigende siden måleren blev opsat i 1888, med en gennemsnitlig rate på $0,6$ mm/år for perioden 1890-2012 (Hansen 2013). Data efter 2012 er endnu ikke kvalitetssikrede og er derfor ikke brugt i udregningen af stigningsraten, men er medtaget i figur 5 med blå kryds.



Figur 5 Årlig middelvandstand observeret i Aarhus Havn 1900–2014 (meter). Sort: kvalitetssikrede data fra Hansen (2013), blå: ikke-kvalitetssikrede data fra DMI, grå: tendenslinje $0,6$ mm/år. Huller i kurven skyldes år med delvist manglende eller fejlbehæftede data.

Når målingerne korrigeres for landhævning, ligger stigningsraten tæt op ad de andre danske målestationer med lange tidsserier. De viser, at vandstanden (korrigeret for landhævning) er steget i gennemsnit $1,7-2,2 \pm 0,3$ mm/år omkring Danmark i perioden 1900-2000. Det er meget tæt på det globale gennemsnit.

5.2 Sandsynligt interval for fremtidig middelvandstand ved Aarhus

I forhold til stigninger i vandstanden i havet, herunder vandstanden ved stormfloder, er der kun små forskelle (størrelsesorden maks. 0,1 m) på de forskellige RCP-scenarier for perioden 2046-2065. For perioden 2081-2100 er der større forskel på scenarierne, og det kan være nødvendigt at forholde sig til denne forskel.

Det bedste estimat for den fremtidige vandstandsstigning ved Aarhus er 0,1–0,2 meter for perioden 2046-2065 og 0,2–0,5 meter for perioden 2081-2100, afhængig af scenarie (tabel 14, baseret på Olesen et al. 2014). Hvis hele det sandsynlige interval for alle scenarier tages i betragtning, vil vandstandsstigningen være 0,0–0,4 meter i 2046-2065 og 0,0–0,8 meter i 2081-2100.

Tabel 14 Vandstandsstigning ved Aarhus i meter.

År	Scenarie	Bedste estimat (meter)	Sandsynligt interval (meter)	95 % percentil (meter)
1986-2005 til 2046-2065	RCP2.6 (IPCC)	0,1	0,0 – 0,3	
	RCP4.5 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,3	
	RCP6.0 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,3	
	RCP8.5 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,4	
1986-2005 til 2081-2100	RCP2.6 (IPCC)	0,2	0,0 – 0,5	
	RCP4.5 (IPCC)	0,3	0,1 – 0,6	
	RCP6.0 (IPCC)	0,3	0,1 – 0,6	
	RCP8.5 (IPCC)	0,5	0,2 – 0,8	
2000 til 2100	RCP8.5 (Grinsted et al. 2015)	0,6	0,4 – 1,0	1,6

Inden for hvert scenarie er der en ganske stor usikkerhed i, hvor stor vandstandsstigningen vil være. En del af usikkerheden skyldes usikkerheden i, hvordan det globale klimasystem vil reagere på den øgede strålingspåvirkning, specielt hvor meget gletsjere og iskapper vil smelte og kælve (brække af i isbjerger). En anden del skyldes, at vandstandsstigningerne ikke vil fordele sig jævnt over hele kloden, og at denne ujævne fordeling af stigningerne kun er bestemt med en vis usikkerhed. Derfor er fremtidige regionale vandstandsstigninger mere usikkert bestemt end den globale stigning.

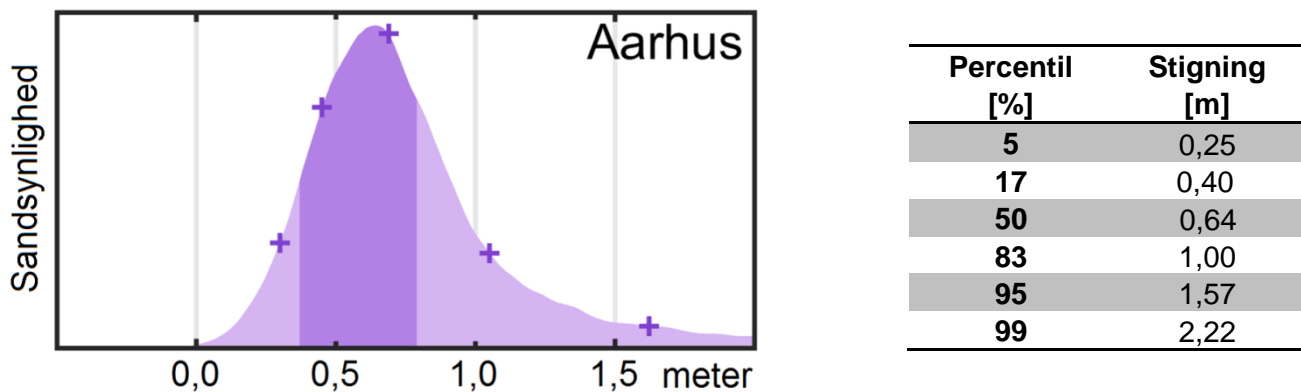
5.3 Risiko for større stigninger

IPCC rapporten angiver ikke værdier ud over det sandsynlige interval, men der findes andre vurderinger af fremtidens vandstandsstigninger, der også behandler risikoen for højere stigninger. Det kan her være relevant at kigge på 95 % percentilen, altså det niveau der kun er 5 % risiko for at overskride, eller 99 % percentilen, altså det niveau der kun er 1 % risiko for at overskride.

En relativ ny vurdering, publiceret i Grinsted et al. (2015), behandler den fremtidige vandstand ved Aarhus (figur 6). Dette studie kan betragtes som en opdatering af DMI's øvre bud (Olesen et al. 2014). Studiet vurderer, at der er en risiko for, at de store iskapper vil miste mere is end vurderet af

IPCC, specielt for RCP8.5 scenariet. I studiet er brugt en landhævningsmodel, der ikke inddrager lokale danske målinger, og som estimerer landhævnningen 0,05 mm/år lavere end vurderet her. Når der korrigeres for dette, giver studiet et bedste estimat på stigningen fra 2000 til 2100 på 0,6 meter og et sandsynligt interval på 0,4 – 1,0 meter, med en 95 % percentil på 1,6 meter og en 99 % percentil på 2,2 meter (figur 6). Der vurderes altså at være mindre end 5 % risiko for, at stigningen bliver højere end 1,6 meter, og at det er usædvanlig usandsynligt, at vandstanden skulle stige mere end 2,2 meter ved udgangen af 2100.

Det bedste estimat i dette studie ligger på linje med IPCC's vurdering, når der tages højde for de forskellige referenceperioder, mens det sandsynlige interval er forskubbet mod højere værdier, primært på grund af den nye vurdering af iskappe-bidraget.



Figur 6 Alternativ vurdering af vandstandsstigningen ved Aarhus fra år 2000 til år 2100 for RCP8.5 scenariet. Figuren til venstre viser hvor sandsynlig en given stigning i meter er. Den lyse lilla kurve viser studiets usikkerhedsfordeling, mens det mørkelilla område viser IPCC's vurdering af det sandsynlige interval. Krydserne angiver 5, 17, 50, 83 og 95 percentilerne (Grinsted et al. 2015). Tabellen til højre angiver 5, 17, 50, 83, 95 og 99 percentilerne, korrigeret for landhævning.

5.4 Betydning for stormfloder

Den stigende middelvandstand vil påvirke udgangspunktet for dannelsen af stormfloder i fremtiden. Der er desuden lavet enkelte studier af, om og hvordan fremtidige ændringer i vinden kunne påvirke stormflodshøjden. I de studier forventes vinden i de indre danske farvande ikke at ændre sig væsentligt under stormfloder, og den maksimale vandstand ved stormfloder forventes at øges svarende til den generelle vandstandsstigning (Madsen 2011). Nyere studier for Tyske Bugt viser, at den øgede middelvandstand potentielt kan påvirke tidevand- og stormflodshøjder i sig selv (Arns et al. 2015), men denne type beregninger er endnu ikke udført for de indre danske farvande.

Selv en moderat ændring i middelvandstanden kan have stor betydning for returperioden for forhøjet vandstand. Hvis vandstanden stiger med 0,3 meter, svarende til det bedste estimat for et middelhøjt scenarie for perioden 2081-2100, vil en stormflod i Aarhus Havn, der i dag i gennemsnit kun optræder hvert 100. år, forekomme ca. hvert 8. år (bestemt på baggrund af Sørensen et al. 2013).

6. Ordliste

Hændelser:

Nedbørshændelse = regnhændelse = regnbegivenhed = en vejr-situation med nedbør af en vis varighed og størrelse.

Klimafaktor:

Angiver den procentdel, nedbøren forventes at stige med som følge af klimaforandringer. En klimafaktor på 1,3 betyder en 30 procent stigning, og en klimafaktor på 1,4 betyder en 40 % stigning.

Returperiode:

Returperiode = det antal år, der statistisk set vil være i mellem, at en regnhændelse af en vis størrelse vil forekomme. En returperiode på 10 år for en regnhændelse på 45 mm/døgn betyder således, at der statistisk set vil forekomme en regnhændelse på 45 mm/døgn hvert 10. år.

Returværdier:

Returværdi = størrelsen af en regnhændelse, der statistisk set forekommer med en vist antal års mellemrum. En returværdi på 45 mm/døgn for en 10 års hændelse betyder således, at der statistisk set vil forekomme en regnhændelse på 45 mm/døgn hvert 10. år.

Sandsynligt interval:

De fremtidige projektioner af vores klima er alle behæftet med unøjagtigheder. IPCC definerer ordet *sandsynligt* til mindst 66 % sandsynlighed. Det *sandsynlige interval* er derfor det interval hvor der er mindst 66 % sandsynlighed for at værdien ligger i intervallet og højst 17 % sandsynlighed for at ligge under og højst 17 % sandsynlighed for at ligge over. Det sandsynlige interval svarer omtrent til en standardafvigelse.

Skybrud:

En særlig intens regnhændelse, hvor der falder mere end 15 mm nedbør på 30 minutter eller mindre.

Stormflod:

En oversvømmelse forårsaget af kraftig vind som presser vandmasser fra havet og ind over land.

5, 10, 20, 50 eller 100 års hændelse:

Statistisk mål for, hvor ofte en hændelse vil forekomme. En 10 års hændelse vil statistisk set forekomme hvert 10. år, og en 100 års hændelse vil statistisk set forekomme hvert 100. år.

Referencer

Arns, A., T. Wahl, S. Dangendorf, og J. Jensen (2015): The impact of sea level rise on storm surge water levels in the northern part of the German Bight. *Coastal Engineering* 96, 118–131.

Cappelen, J. og P. Grunnet Wang (2014): Ekstremnedbør i Danmark 1872-september 2014 og 1961-september 2014 – Ekstremværdianalyse af døggnedbør og femdøgnsudsum i Danmark. 1872-september 2014 (5 stationer), 1961-september 2014 (33 stationer). DMI Teknisk Rapport 14-15

Grinsted, A., S. Jevrejeva, R. Riva og D. Dahl-Jensen (2015): Sea level rise projections for northern Europe under RCP8.5. *Climate Research* 64, 15–23. Specifikke data for Aarhus kan downloades fra www.gi.academy.net/Home/PDFs/Announcements/sealevelriseprojectionsfornortherneuropeunderrcp85

Hansen, L. (2013): Sea level data 1889 - 2012 from 14 stations in Denmark. DMI teknisk rapport 13-15.

IPCC (2007): Summary for Policymakers. 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, NY, USA

Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. B. Christensen, L. M. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber, P. Yiou "EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research." *Regional Environmental Change* 14.2 (2014): 563-578.

Kjellström, E. and F. Giorgi (eds.) *Regional Climate Model evaluation and weighting*. *Climate Research special issue* 44, 117-241 (2010)

Madsen, K.S. (2011): *Recent and future climatic changes of the North Sea and the Baltic Sea – Temperature, salinity, and sea level*. LAMBERT Academic Publishing, Germany. ISBN: 978-3-8443-1270-6 (Publiceret version af [ph.d. afhandling](#)).

Moss, R. H., et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.

Olesen, M., K.S. Madsen, C.A. Ludwigsen, F. Boberg, T. Christensen, J. Cappelen, O.B. Christensen, K.K. Andersen og J.H. Christensen (2014): *Fremtidige klimaforandringer i Danmark*. Danmarks Klimacenter Rapport 14-06, DMI.

Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex og P.M. Midgley (eds.) (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of*

Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom og New York, NY, USA.

Sørensen, C., H.T. Madsen og S.B. Knuden (2013): Højvandsstatistikker 2012. Kystdirektoratet.

Sørup, H. J. D., O. B. Christensen, K. Arnbjerg-Nielsen, and P. S. Mikkelsen (2015) Downscaling future precipitation extremes to urban hydrology scales using a spatio-temporal Neyman–Scott weather generator Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 12, 2561-2605, doi:10.5194/hessd-12-2561-2015