

DECEMBER 2021
REGION MIDTJYLLAND

Ekstremnedbør, en perspektivering af de store oversvømmelser i Tyskland til danske forhold

RAPPORT



COWI

DECEMBER 2021
REGION MIDTJYLLAND

Ekstremnedbør, en perspektivering af de store oversvømmelser i Tyskland til danske forhold

RAPPORT

PROJEKTNR.

A234692

DOKUMENTNR.

A234692-001

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

13. dec. 2021

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

JIJ, JUTT, LJN

KONTROLLERET

CAFK

GODKENDT

JIJ

INDHOLD

1	Resume	7
2	Indledning	9
3	Oversvømmelserne i Tyskland sommeren 2021	10
3.1	Hvad skete der?	10
3.2	Hvad har man forventet?	14
3.3	Hvor ekstreme var de observerede hændelser	17
4	Hvad har vi oplevet i Danmark	19
4.1	DMI klimaatlas	19
4.2	Konkrete ekstremhændelser i DK??	20
4.3	Særlige forhold ift. de danske erfaringer med ekstremnedbør	26
5	Perspektivering af den tyske hændelse til danske forhold	28
6	Hvordan ruster vi os til fremtidens vejr	32
6.1	Nutidens planlægning	32
6.2	Fremtidens klima	33
7	Referencer	35

1 Resume

I sommeren 2021 medførte omfattende skybrud i Tyskland store skader på huse, marker og infrastruktur. Denne rapport belyser om vi kan forvente noget tilsvarende i Danmark.

Der forventes samme type af nedbør i Köln og Midtjylland

Der er udført en analyse af eksisterende tal for nedbør i hhv. det berørte område ved Köln og sammenlignet med Herning i Midtjylland. Konklusionen er, at det forventede nedbørsmønster er sammenligneligt for Köln og Midtjylland.

De observerede hændelser i Tyskland på op til 162 mm på 24 timer, afviger betydeligt fra det forventede og der er estimeret gentagelsesperioder for disse op til 180.000 år, dog for nogle områder i intervallet 6-10.000 år.

Området omfattet af ekstrem nedbør i Tyskland svarer næsten til hele Region Midts areal

Området der blev ramt af hændelser større end en 100 års hændelse udgjorde ca. 10.000 km². Til sammenligning udgør hele Region Midt ca. 13.000 km². Udbredelsen af skybruddet i Tyskland svarede derfor næsten til omfanget af hele Region Midtjylland. Nedbøren har omfattet flere deloplande, hvor afstrømningen og dermed konsekvenserne er uafhængige. Konsekvenserne i de enkelte oplande havde således været den samme såfremt nedbøren kun havde ramt et eller enkelte deloplande, men det samlede omfang af skaderne havde selvfølgelig været mindre.

Vi har haft tilsvarende hændelser i Danmark, bare i mindre områder

Også I Danmark har vi målt ekstreme nedbørshændelser på op mod 170 mm. over 24 timer. F.eks. i forbindelse med skybrud i København i 2011 og i Kerteminde. Disse er dog estimeret med lavere gentagelsesperiode end de tyske. Vi har observeret ekstreme vandløbsafstrømninger både i Storåen ved Holstebro, i Taps Å ved Christiansfeld og i Elling Å ved Frederikshavn. I Taps Å i 2007 medførte det store skader og oversvømmelser af bl.a. et plejehjem. Oversvømmelserne i Taps Å og i Elling Å var i forbindelse med ekstreme nedbørshændelser.

Vi kan forvente skybrud med større udbredelse end vi har set

Vi kan ikke forvente skybrud med samme geografiske udbredelse som i Tyskland, men vi kan godt risikere skybrud, med større udbredelse end det vi indtil nu har observeret i Danmark.

Vandløbsoplandene i Danmark er generelt mindre end i Tyskland. Selvom udstrækningen af tilsvarende skybrud i Danmark vil være mindre, grundet de

særlige atmosfæriske forhold der var omkring situationen i Tyskland, så kan det ikke udelukkes at tilsvarende hændelser som det der er set i Tyskland også kan ramme hele vandløbsoplande i Danmark.

Konsekvenserne kan være større end det vi tidligere har oplevet også ved nutidens klima

Konsekvenserne af dette vil være enorme, da mange af vores vandløb har udløb til havet gennem byområder og der er bygget helt ned til vandløbsbredden. Vi arbejder med klimatilpasning og tiltag for at gardere os mod konsekvenserne af ekstremhændelser op til 100 års gentagelsesperiode, men vi forbereder os generelt ikke på det uventede. Der bør derfor ske en udvikling i vores planlægning fremover, såfremt vi ikke skal risikere tilsvarende skader.

Kommunerne planlægger stadig nybyggeri i områder truet af oversvømmelser fra vandløb

Der planlægges og udbygges stadig i vandløbsnære områder. En analyse af sammenfald mellem området udpeget som truede af oversvømmelser fra vandløb, sammenholdt med udlagte og vedtagne byggefelter, viser at 4 ud af 5 kommuner i Danmark, har vedtaget byggeri i arealer omfattet af kystdirektoratets kortlægning. Det samlede areal af disse udgør ca. 1000 ha.

2 Indledning

Gennem snart 20 år, hvor det første alvorlige skybrud ramte Danmark (Greve 2002), har der været et øget fokus på skybruds uforudsigelighed, tilfældigheder og skadespåvirkninger. Oversvømmelserne i Greve i 2002 var enorme efter Danske forhold, men er siden overgået af flere ekstreme hændelser i Danmark, hvor skybruddet i København i 2011 indtil nu har været det mest voldsomme set på konsekvenserne.

I sommeren 2021 kunne vi fra Danmark observere skybrudshændelser lige syd for os og se konsekvenserne heraf, når endnu større områder rammes, som det skete i Tyskland og Belgien med omfattende ødelæggelser til følge. Selve skybruddet var ikke meget værre end det vi har set i Danmark, men udbredelsen og de geografiske forhold medførte at vandet samlede sig i floder og rev undergrunden og huse med sig.

Spørgsmålet følger naturligt – de voldsomme oversvømmelser man oplevede i Tyskland og Belgien i sommeren 2021, kan vi opleve dette i Danmark og hvad vil konsekvenserne være af dette?

Nærværende rapport belyser situationen i Tyskland, tidligere hændelser i Danmark og perspektiverer de tyske forhold til en dansk kontekst.

3 Oversvømmelserne i Tyskland sommeren 2021

3.1 Hvad skete der?

Mellem d. 6.-12. juli indtraf en række normale men dog omfangsrige, nedbørshændelser over Schweiz, de østlige dele af Frankrig og det sydvestlige Tyskland. Nedbørshændelser resulterede i en forholdsvis fugtig jord og mange steder tæt på vandmættet i dagene op til de voldsomme oversvømmelser (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). Når jorden således er vandmættet har man en sårbar situation, såfremt der kommer mere vand.

D. 13.-15. juli førte et langsomt lavtrykssystem til meget kraftige, langvarige nedbørshændelser i de vestlige dele af Tyskland og i grænseregionerne i Frankrig, Luxembourg, Belgien og Holland. Dette medførte store oversvømmelser i flere byer langs med floderne i området, med store ødelæggelser og mere end 180 tilskadekomne til følge.

Billeder af nogle af de hårdest ramte byer ses nedenfor.



Figur 1 Schuld (Michael Probst/AP Photo/picture alliance).



Figur 2 Bad Neuenahr Ahrweiler (Getty images).



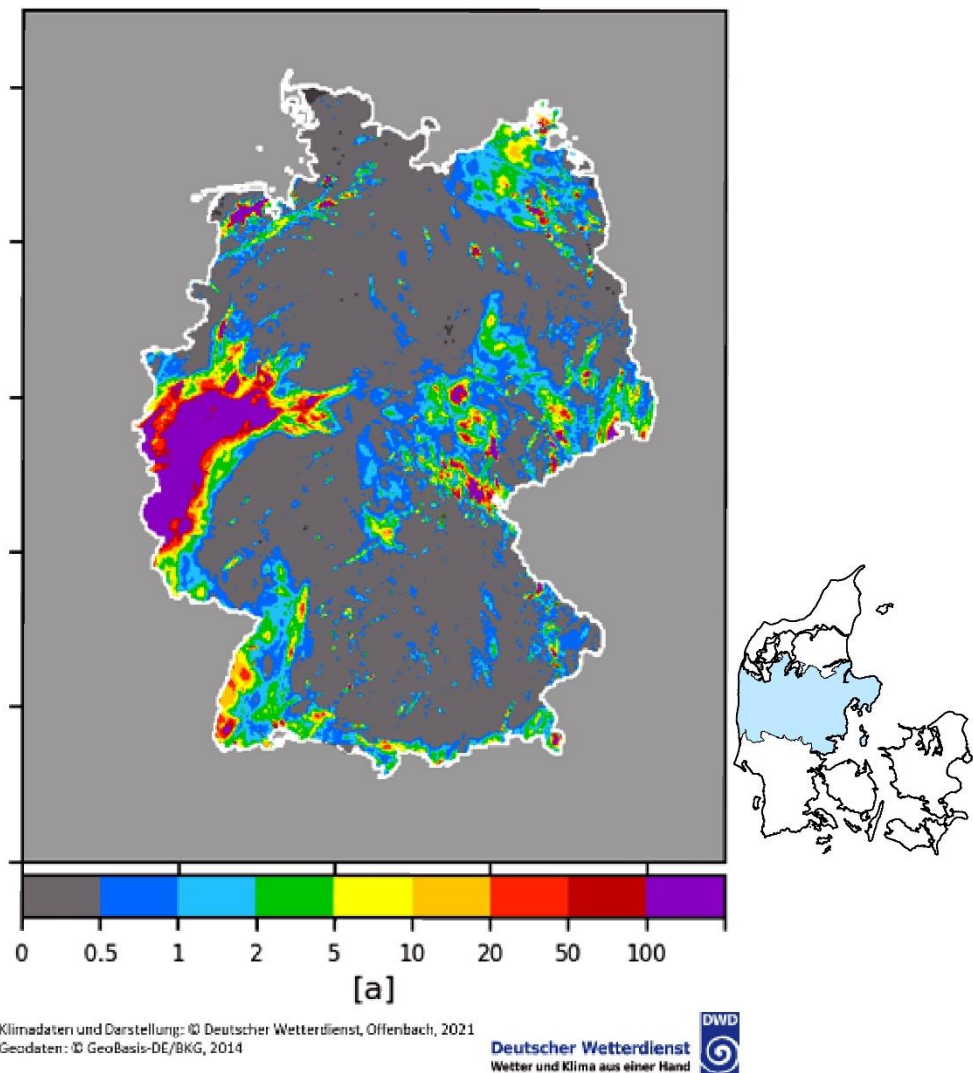
Figur 3 Köln (Getty images).



Figur 4 Erfstadt-Blessem (Rhein-Erft-Kreis/EPA)

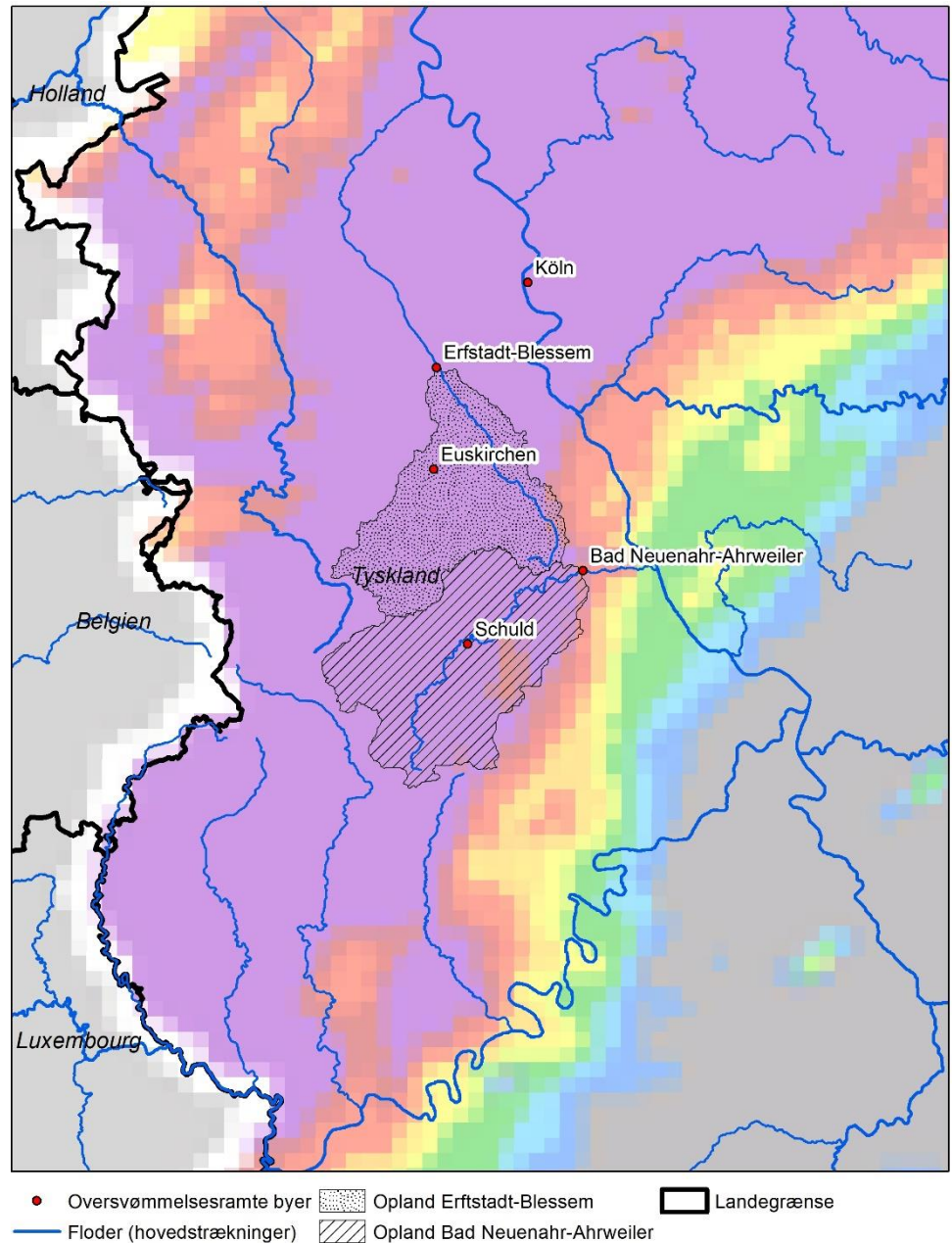
Tysklands meteorologiske institut (DWD) har lavet en analyse af gentagelsesperioden på de målte regnhændelser i Tyskland fra d. 12.-15. juli 2021. Flere steder er regnhændelser kategoriseret som større end en 100-års hændelse (Junghändel et. al. 2021). På Figur 5 ses de maksimale gentagelsesperioder målt i Tyskland fra d. 12.-19. juli 2021. Arealet som blev ramt af regnhændelser større end en 100-års hændelse (lilla område) er estimeret at være ca. 10.000 km² stort, dvs. næsten lige så stort som hele Region Midt (13.000 km²).

En regnhændelse svarende til en 100-års hændelse er ikke usædvanlig, men vil normalt forekomme som et lokalt skybrud over et mindre område. Derfor kan det opleves at 100 års hændelser optræder ofte, men da det ikke er samme område der rammes er det som forventet. At der forekommer så kraftige regnhændelser over så stort et samlet område indenfor få dage er derimod højst usædvanligt.



Figur 5 Maksimale gentagelsesperioder for varigheder fra 1-72 timer fra d. 12.-19. juli, 2021 (Junghändel et. al. 2021). Et omrids af Danmark og Region Midtjylland er vist ved siden af til sammenligning af størrelsesforholdene.

På Figur 6 er nogle af de hårdest ramte byer markeret langs floderne i området. De tilhørende estimerede oplandsarealer for Erfstadt-Blessem og Bad Neuenahr-Ahrweiler er også vist figuren og viser at stort set hele oplandsarealet har været ramt af regnhændelser større end en 100-års hændelse. Størrelsen på oplandene er vist i Tabel 1 og ligger i samme størrelsesorden (eller mindre) som de oplandsstørrelser, der findes til vandløb i Region Midt.



Figur 6 Byer i det vestlige Tyskland ramt af oversvømmelser, floder (hovedstrækninger), samt oplandsarealer til Erfstadt-Blessem og Bad Neuenahr-Ahrweiler. Gentagelsesperioder fra Figur 5.

I nedenstående tabel er oplandsarealer til nogle af deloplandene opgjort.

Tabel 1 Oplandsarealer til nogle af de hårdest ramte byer, langs med oversvømmede floder i Tyskland.

By	Flod	Oplandsareal [km ²]
Bad Neuenahr-Ahrweiler	Ahr	800
Erfstadt-Blessem	Erf	645

Ovenstående deloplande har samme størrelse som en typisk midtjysk Kommune, f.eks. Randers på 748 km². Afstrømningerne der har givet store skader er således fra meget mindre oplande, end det samlede berørte område.

Flodstrækningen fra Nohn til Schuld har et fald på ca. 10 o/oo og ca. 5 o/oo fra Schuld til Bad Neuenahr-Ahrweiler. Til sammenligning er faldet gennem hele Gudenåen ca. 0,5 o/oo.

Oplandet til vandløbene/floderne er også forskellige ift. hældningen på oplandet til vandløbet/floden. F.eks. viser et tværsnit af Gudenåen opstrøms Silkeborg at terrænet falder med ca. 50 o/oo, mens det tilsvarende i Tyskland på floden Ahr ses et fald på 130 o/oo.

Oplandet udstrækning og faldforhold har stor betydning for hvordan vandet strømmer af, ligesom der i situationer hvor jorden er vandmættet også vil ske en hurtigere afstrømning, da jordens overflade så vil virke som en glasplade.

Anderledes terrænforhold i Tyskland end i Danmark

Faldforholdene i Tyskland på både terræn og vandløb er generelt større end det vi oplever i Danmark, hvorfor vi her kan forvente en hurtigere afstrømning og dermed større koncentration af vandet fra skybruddet.

Overordnet kan det konkluderes at terrænet er mere stejlt i de ramte områder i Tyskland, ift. hvad der generelt er gældende i Danmark og Region Midt. Det betyder at en tilsvarende hændelse i Danmark vil være længere tid om at strømme af og dermed vil der vandmængderne også relativt være mindre, end ved et stejlt terræn i oplandet. Det er ikke vurderet om arealanvendelsen også varierer og i hvilket omfang f.eks. landbrug eller skovdrift varierer.

Vi har dog områder med stejlere forhold, som f.eks. Grejs Å-dalen og andre østjyske ådale, her kan der forventes hurtigere afstrømning.

3.2 Hvad har man forventet?

For at vurdere usædvanligheden af de observerede hændelser, sammenlignes med hvad der forventes af ekstremnedbør i Tyskland og i samme region.

Tysklands metrologiske institut (DWD) har udarbejdet et klima atlas, hvor der fremgår data for dimensionsgivende nedbør af varigheder fra 5 min til 72 timer og for 9 forskellige gentagelsesperioder. Data er baseret på perioden 1951-

2010. Data er præsenteret ved at inddele Tyskland i et "grid" af 79 x 107 felter. Hvert felt har en opløsning på 8.15 km x 8.20 km.

De maksimalt fundne nedbørsmængder iht. klima atlas er gengivet i Tabel 2 for hele Tyskland. Dette er dog ikke geografisk repræsentativt for det berørte område af oversvømmelserne.

Tabel 2 *Maksimal nedbør for hele Tyskland iht. klima atlas (Kilde: Kostra DWD)*

Maksimal nedbør [mm] ved gentagelsesperiode [år]									
Timer	1	2	3	5	10	20	30	50	100
24	92	111	122	122	156	175	186	201	220
18	80	97	107	107	137	154	164	176	194
12	66	80	89	89	114	128	137	147	162
6	47	58	65	65	85	96	102	111	122
1	23	31	35	35	49	57	62	68	76

I de områder at Tyskland, hvor der forventes mest nedbør forventes således 220 mm for en 100 års hændelse med en varighed på 24 timer. Og tilsvarende 76 mm for en 100 års hændelse med en varighed på 1 time. Der er dog stor variation over landet og der forventes væsentligt mindre nedbør i de egne af området omkring Köln, hvor hændelserne skete.

En 100 års hændelse i Tyskland svarer til 76 mm på 1 time eller 122 mm på 6 timer. Til sammenligning faldt der op til 177 mm i København under hændelse i juli 2011, på under 2 timer.

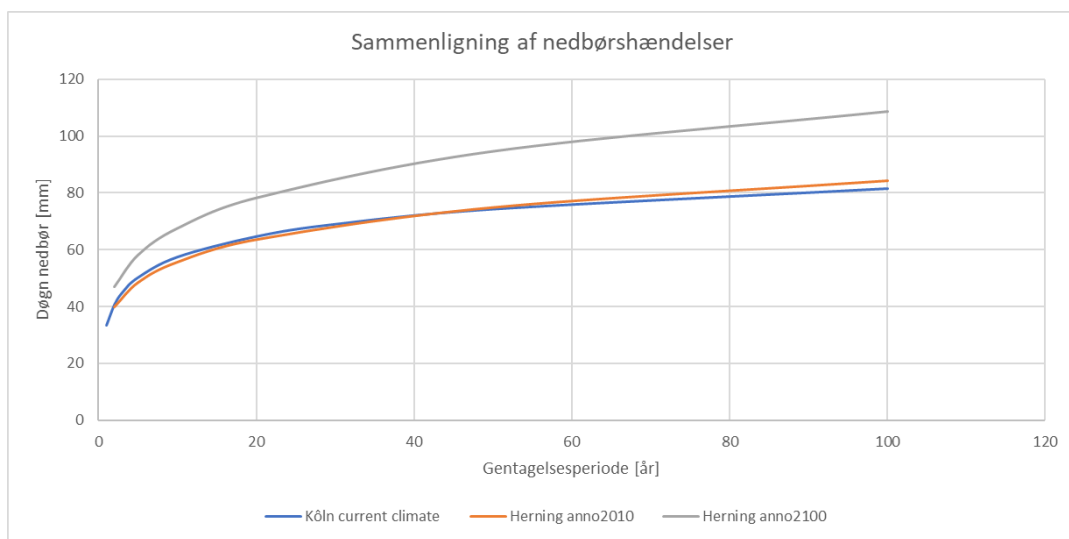
Samme forventede nedbør i det berørte område i Tyskland som i Midtjylland

Köln er vurderet til at være placeret geografisk i midten af det værst berørte område. Regndata for Köln er vist i Tabel 3 og er i Figur 7 sammenlignet med DMI data for Herning Kommune for henholdes år 2010 og forventet ved forventet klima i år 2100. Konklusionen er at de forventede nedbørsmængder i det ramte tyske område er meget sammenligneligt med forventede nedbørsmængder for Region Midt i Danmark.

Tabel 3 Tyskland, Köln: Nedbør [mm] som funktion af varighed og gentagelsesperiode (Kilde: Kostra DWD)

Varighed		Nedbør [mm]								
[min]	[time]	1yr	2yr	3yr	5yr	10yr	20yr	30yr	50yr	100yr
5	0.08	4.7	6.9	8.2	9.8	12	14.2	15.5	17.2	19.4
10	0.17	7.6	10.3	11.9	13.9	16.7	19.4	21	23	25.7
15	0.25	9.5	12.6	14.4	16.7	19.8	22.9	24.7	27	30.1
20	0.33	10.9	14.3	16.3	18.8	22.1	25.5	27.5	30	33.4
30	0.50	12.8	16.6	18.8	21.7	25.5	29.4	31.6	34.4	38.3
45	0.75	14.4	18.8	21.3	24.5	28.9	33.2	35.8	39	43.3
60	1.00	15.4	20.2	22.9	26.4	31.2	36	38.7	42.2	47
90	1.50	17	22	25	28.6	33.7	38.7	41.6	45.3	50.3
120	2.00	18.2	23.4	26.5	30.3	35.5	40.8	43.8	47.6	52.8
180	3.00	20.1	25.6	28.8	32.9	38.4	43.9	47.1	51.1	56.6
240	4.00	21.6	27.3	30.6	34.8	40.5	46.3	49.6	53.8	59.5
360	6.00	23.8	29.8	33.4	37.8	43.8	49.8	53.4	57.8	63.8
540	9.00	26.3	32.7	36.4	41	47.4	53.7	57.5	62.1	68.5
720	12.00	28.2	34.8	38.7	43.5	50.1	56.7	60.6	65.4	72
1080	18.00	31.1	38.1	42.2	47.3	54.2	61.2	65.3	70.4	77.4
1440	24.00	33.4	40.6	44.9	50.2	57.4	64.6	68.9	74.2	81.4

I Köln er der således forventet mindre nedbør i de ekstreme hændelser end for Tyskland generelt. For køln er der forventet 81,4 mm for en nuværende 100 års hændelse med en varighed på 24 timer (1440 minutter).



Figur 7 Sammenligning af dansk og tysk klima atlas for døgnnedbør, hhv. Köln og Herning Kommune

Sammenlignet med tilsvarende data for Herning Kommune er der stor overensstemmelse ift. det nuværende klima og kurverne for intensitet i forhold til varighed er stort set ens. Det forventede nedbørsmønster midt i det berørte område svarer således til det forventede mønster i Midtjylland. Det forventede klima for Herning i år 2100 er vist for at illustrere den forventede ændring som følge af klimaændringerne.

3.3 Hvor ekstreme var de observerede hændelser

Der er udført en analyse af de målte nedbørshændelser i det oversvømmede område og sammenlignet med det forventede. På dette grundlag er estimeret gentagelsesperioder for de målte data.

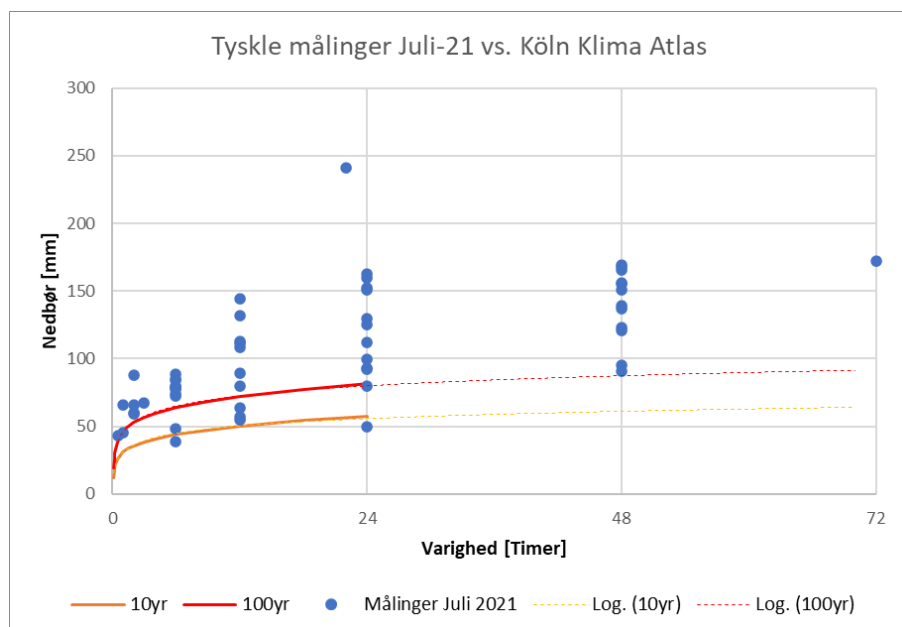
Der er analyseret på kendte nedbørsmålinger i det oversvømmede område i Tyskland (se Figur 8), som er registreret med 24 timers varighed og hvor hændelsen er kategoriseret som mere sjælden end en 100-års gentagelsesperiode.

Vandmængder svarende til en dobbelt 100 års hændelse

Disse målinger er 40-100% større end det der forventes forventet ved en 100-års gentagelsesperiode. Dermed er det estimeret at gentagelsesperioden på de registrerede hændelser er svarende til flere tusinde år, hvilket er angivet i Tabel 4 og Figur 9.

Tabel 4 Fremskrivning af nedbørsmålinger for estimering af gentagelsesperiode iht. tysk klima Atlas

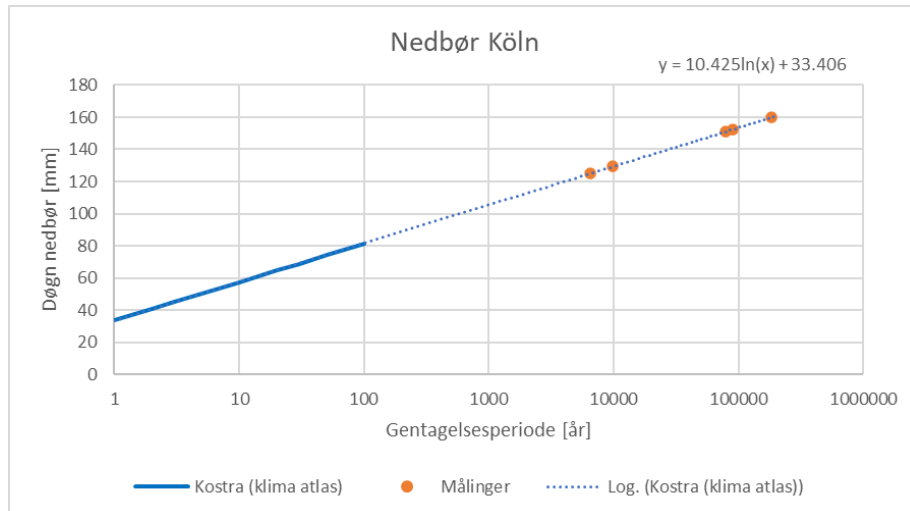
Nedbørs målinger			Klima atlas		
Dato	Sted	24 timer nedbør (mm)	Grid	T-100 år, 24 timer (mm)	Estimeret T [år]
14.07.21 22:00	Wipperfurth-Gardeweg (NW)	162.4	4200 ~107.6mm	107.6	9000
14.07.21 22:00	Köln-Stammheim (NW)	159.8	4355 Köln ~ 81.4mm	81.6	184000
14.07.21 22:00	Kall-Sistig (NW)	152.4		89.9	91000
14.07.21 22:00	Wuppertal-Buchenhofen (NW)	151		85.2	79000
15.07.21 06:00	Dahlem-Schmidtheim (NW)	129.3		82.9	10000
15.07.21 01:00	Schneifelvorsthaus (LfU, RP)	124.9		88.6	6000



Figur 8 Alle kendte målinger vist sammen med forventet og fremskrevet klima atlas for Köln

Ekstreme gentagelsesperiode

De estimerede gentagelsesperioder er således op til 184.000 år, baseret på den målte nedbør indenfor 24 timer sammenholdt med eksisterende data og ekstremstatistik. For nogle af områderne er det dog mere moderate gentagelsesperioder.



Figur 9 Døgn målinger af nedbøren i nærheden af Köln vist sammen med fremskrevet gentagelsesperiode for 24 timers hændelse iht. klima atlas for Köln. Det er disse værdier der danner grundlag for estimatet i tabel 4.

Det fremgår af fremskrivningen at en nedbørskybde på det dobbelte af en forventet 100 års hændelse forøger gentagelsesperioden med mere end en faktor 1000. Dette fortæller hvor ekstreme nogle af de målte værdier i området har været.

4 Hvad har vi oplevet i Danmark

Ifølge DMI er der i Danmark for perioden 1874-2020 registreret i alt 37 måneder, hvor den maksimale døgnedbør har oversteget 100 mm. Den største officielle døgnedbør registreret i Danmark er registreret d. 8-9. juli 1931 i Marstal og var 168.9 mm.

4.1 DMI klimaatlas

Nedenstående to tabeller indikerer hvordan nedbøren i Region Midt forventeligt kan udvikle sig fra referenceperioden (1981-2010) og frem til år 2100. De baserer sig på forskellige scenarier for udvikling af CO₂ niveau i atmosfæren og indikerer en forøget nedbørsmængde i perioden frem til år 2100 på op imod 50% mere nedbør end referenceniveauet for en 100 års gentagelsesperiode.

100-årshændelse døgnedbør [mm], Mellem CO₂-niveau (RCP4.5)

Kommune	Reference (1981-2010)	Start århundrede (2011-2040)			Midt århundrede (2041-2070)			Slut århundrede (2071-2100)		
		Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil	Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil	Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil
Favrskov	78.91	84.86	70.11	109.51	91.76	73.97	113.37	97.25	65.78	105.19
Hedensted	76.14	84.01	65.75	116.12	87.31	72.56	122.93	91.79	64.66	115.03
Herning	84.43	88.22	78.82	110.52	90.89	79.96	111.66	92.66	77.63	111.85
Holstebro	83.64	88.91	78.27	111.65	94.03	79.41	112.78	93.85	76.77	111.24
Horsens	77.87	84.67	63.27	107.08	87.47	72.24	116.05	93.43	65.80	109.61
Ikast-Brande	88.36	87.61	76.02	111.66	89.14	77.66	113.30	93.21	76.57	112.35
Lemvig	89.39	90.49	76.52	114.25	96.75	78.35	116.08	94.34	74.47	112.20
Norddjurs	89.03	90.47	74.92	113.73	99.09	81.31	120.13	97.14	78.64	118.12
Odder	78.82	81.38	62.36	104.55	86.35	70.59	112.78	92.18	61.29	103.48
Randers	85.64	88.13	74.76	110.97	94.41	78.92	115.13	97.82	73.65	109.86
Ringkøbing-Skjern	84.77	87.87	74.80	115.15	87.09	77.85	118.20	93.66	73.43	114.77
Samsø	79.32	82.67	65.11	106.91	88.45	75.06	116.85	90.56	73.07	114.91
Silkeborg	84.31	85.83	71.55	105.82	90.37	75.08	109.35	94.93	72.90	107.18
Skanderborg	78.55	83.38	66.51	105.69	88.55	71.46	110.64	93.59	65.80	104.98
Skive	83.53	88.91	80.56	110.02	93.57	81.75	111.20	95.60	76.25	106.32
Struer	88.28	89.28	78.14	112.57	95.40	79.05	113.48	94.08	76.08	110.55
Syddjurs	86.08	86.48	73.96	112.60	94.90	79.16	117.80	95.29	74.51	113.15
Viborg	83.58	87.56	75.93	106.38	93.10	79.70	110.14	95.40	75.91	106.56
Aarhus	79.06	83.51	68.30	108.45	89.01	72.93	113.07	94.39	64.85	104.99
<i>Gennemsnit</i>	83.14	86.54	72.40	110.19	91.45	76.68	114.47	94.27	72.00	110.12
	100%	104%	87%	133%	110%	92%	138%	113%	87%	132%

100-årshændelse døgnedbør [mm], Højt CO₂-niveau (RCP8.5)

Kommune	Reference (1981-2010)	Start århundrede (2011-2040)			Midt århundrede (2041-2070)			Slut århundrede (2071-2100)		
		Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil	Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil	Median	Nedre: 10-percentil	Øvre: 90-percentil
Favrskov	78.91	91.48	77.65	105.03	92.77	77.01	110.22	103.46	88.01	120.88
Hedensted	76.14	84.75	72.77	103.03	91.60	73.70	109.61	98.37	82.05	122.68
Herning	84.43	94.39	78.67	110.39	96.96	77.23	118.89	108.80	88.47	131.61
Holstebro	83.64	94.39	77.41	109.53	97.09	78.19	117.07	108.76	88.88	129.32
Horsens	77.87	86.09	73.28	102.17	90.77	73.68	107.65	98.63	84.19	122.70
Ikast-Brande	88.36	92.82	77.95	107.35	96.27	76.26	115.04	106.50	87.33	130.76
Lemvig	89.39	95.93	76.94	111.69	98.63	79.19	120.46	108.99	89.77	129.93
Norddjurs	89.03	96.72	81.54	112.30	97.30	84.34	119.32	107.84	88.90	131.96
Odder	78.82	83.40	72.75	99.34	88.18	73.68	107.96	96.26	83.66	114.70
Randers	85.64	93.63	78.65	107.70	95.92	79.97	113.34	104.91	90.01	128.92
Ringkøbing-Skjern	84.77	94.58	78.85	112.80	97.23	76.09	123.12	108.56	88.04	134.86
Samsø	79.32	86.02	72.90	106.47	91.90	75.16	111.49	100.45	79.95	122.37
Silkeborg	84.31	90.98	76.46	105.16	93.35	75.19	111.74	104.38	86.96	123.43
Skanderborg	78.55	86.90	75.61	101.92	89.80	75.30	108.49	98.64	86.20	118.89
Skive	83.53	95.45	77.42	109.22	97.01	77.42	119.47	106.41	86.31	132.55
Struer	88.28	94.86	76.28	109.07	96.39	78.39	116.69	108.84	89.05	130.29
Syddjurs	86.08	92.94	79.47	107.67	93.95	81.14	114.92	105.23	88.75	123.97
Viborg	83.58	93.86	75.77	107.11	95.52	78.09	116.22	104.82	86.04	127.28
Aarhus	79.06	86.96	76.61	102.71	89.97	77.00	108.28	100.17	86.70	116.16
<i>Gennemsnit</i>	83.14	91.38	76.68	106.88	94.24	77.21	114.21	104.21	86.80	125.96
	100%	110%	92%	129%	113%	93%	137%	125%	104%	151%

I Danmark er den forventede nuværende nedbør ved en 100 års hændelse i intervallet 76 til 89 mm, med et gennemsnit på 83 mm. De mest ekstreme hændelser i Danmark er således også målt til omkring det dobbelte af en 100 års hændelse.

4.2 Konkrete ekstremhændelser i DK??

I dette afsnit beskrives kort eksempler på oversvømmelser i Danmark baseret på ekstreme afstrømningshændelser.

4.2.1 Lønstrup, august 1877

Under et voldsomt skybrud i august 1877 blev Lønstrup i Vendsyssel delt i to og huse ødelagte, da den lille Lønstrup bæk blev til en 360 meter lang kløft, på 15 meters bredde og 4,5m meter dyb (DR nyheder).



Figur 10 *Bækslugten efter d. 11. august 1877 (Kilde Lokalhistorisk Forening for Lønstrup og Omegn)*

4.2.2 Holstebro, marts 1970

Storåen vandføring ca. 105 m³/s, forårsaget af tøbrud. Omfattende oversvømmelser, åen blev herefter reguleret. Der har siden været flere oversvømmelser med vandføringer omkring 60 m³/s.



Figur 11 Kilde: Lokalhistorisk Arkiv Holstebro

4.2.3 Greve, august 2002 og juli 2007

Skybrud over 100 mm på tre timer, medført store oversvømmelser. Rådhuset, gymnasiet, private boliger skoler mm. blev ramt, da vandmængderne overskred kloakkernes kapacitet og vandet samlede sig i store bebyggede lavninger. Dette gav sammen med de efterfølgende oversvømmelser i 2007, forårsaget af nedbør i oplandet, vandmættet jord og ekstreme afstrømninger gennem de mindre vandløb, anledning til massive investeringer i klimatilpasning i kommunen.



Figur 12 Oversvømmet boligområde i Greve 2007. (www.klarforsyning.dk)

4.2.4 Gråsten, august 2007

I Sønderjylland blev der i 2007 registreret nedbør på over 140-160 mm ved Fiskbæk, Gråsten og nedbøren faldt på mindre end to timer. Nedbøren faldt meget lokalt som ses af nedenstående tabel, hvor der er stor variation i målt nedbør på geografisk nærliggende målere. Ved Adsbøl forårsagede hændelsen underminering af banedæmning og nærliggende landevej.

Statno	Navn	Målt	Radars
6110	FSN Skrydstrup	0,8	0,7
6116	Store Jyndevad	13,0	15,0
26050	Oksenvad	2,7	0,2
26070	Christiansfeld	0,0	0,0
26120	Åbøl	6,6	3,9
26210	Rangstrup	3,8	2,5
26230	Diernæs	4,7	2,5
26340	Bredebro	15,0	19,1
26376	Tønder Centralrenseanlæg	2,0	0,2
26400	Store Jyndevad II	10,3	21,5
26407	Klipleve	23,8	14,5
26430	Broager Busholm	54,5	36,6
26440	Fiskbæk	142	152,6
privat	Fiskbækskov I	130	131,4
privat	Fiskbækskov II	162	152,6
privat	Adsbøl	118	113,2
26450	Nørreløkke	0,6	5,4
28359	Assens	0,0	0,0
28385	Bøjden	0,6	0,1

Figur 13 Målt og beregnet nedbørsmængde i mm hen over 24 timer 20/8 kl. 8 til 12/8-2007 kl. 8 (lokaltid) ved et antal nedbørstationer inklusive private målinger i Fiskbæk og omegn. Statno = stationsnummer for DMI stationer og tidligere nr. for Fiskbæk (Kilde: Vejret 114, Februar 2008)

Skybruddet var resultat af et multicelle tordenvejr i forbindelse med opvarmet fugtig luft tilført fra Østersøen. Tordens cellens levetid kunne forlænges udover de normale 20-60 minutter, pga. gunstige betingelser med varmeadvektion i umiddelbar nærhed af den oprindelige tordencelle (Kilde: Vejret nr. 114 februar 2008)



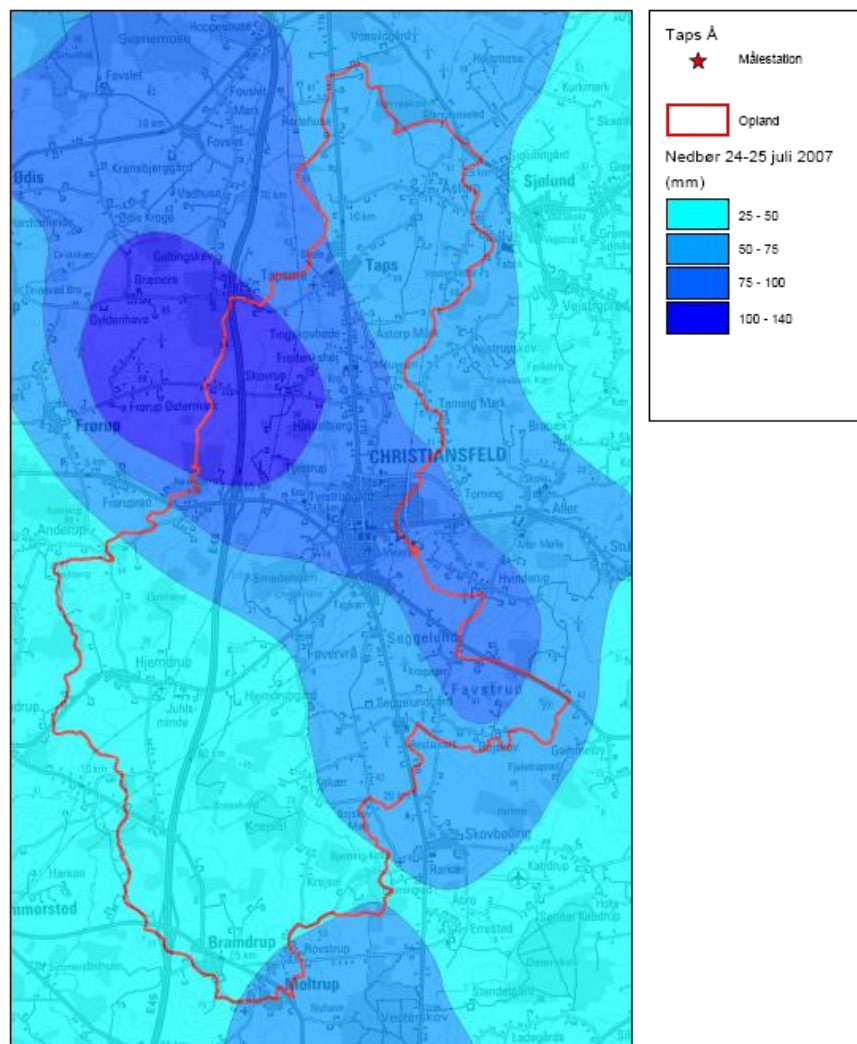
Figur 14 Landevejen ved Adsbøl blev skyllet væk under det ekstreme skybrud (Kilde: TV2 vejret)

4.2.5 Christiansfeld, juli 2007

Skybrud i oplandet i en meget våd periode, medførte ekstreme oversvømmelser ved Christiansfeld plejehjem, som måtte evakueres



Figur 15 Oversvømmelser ved Taps Å, Christiansfeld 2007

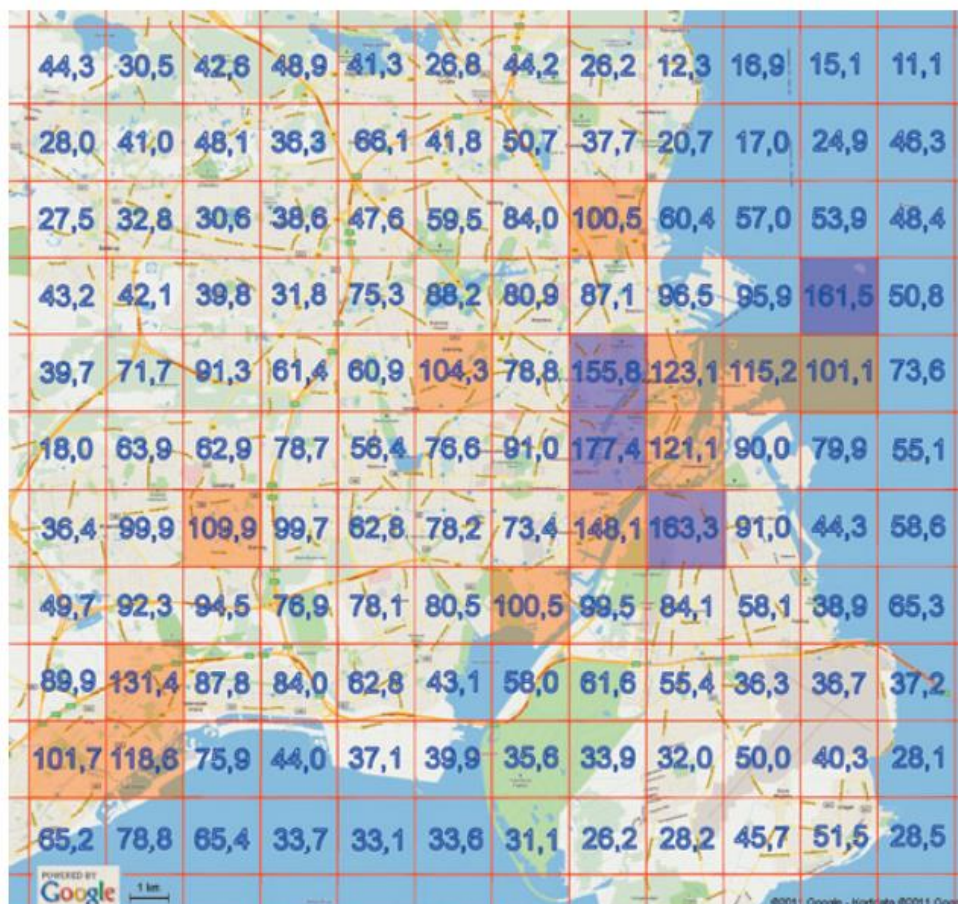


Figur 16 Nedbør ved Christiansfeld i 2007.

Heldigvis ramte det kraftigste nedbørsfelt på hver side af en oplandsgrænse, så vandet blev fordelt mellem Taps Å, som løber mod øst og Fovs Å, som løber mod vest. Havde skybruddet ramt få km længere mod sydøst, havde konsekvenserne været endnu værre, da alt vandet så skulle have passeret de områder der allerede var ramt. Det værst ramte område fik 131 mm over 2 døgn.

4.2.6 København, juli 2011

Skybrud over indre by medførte ekstreme oversvømmelser og skader for 7 mia. kr. Skybruddet opstod da en langsomt bevægende koldfront fra vest mødte fugtig og ustabil luft sydfra over Østersøen og med kurs mod Danmark. Flere tordenceller opstod og opløsningen af disse medførte nye kollisioner af gustfronter, som iværksætter nye tordenceller. Vekselvirkningen mellem koldfronten og den varme ustabile luft skabte en konvergenzzone som i en periode på ca. 50 minutter næsten forekom stationær over Københavns området (Kilde: Vejret, nr. 128 august 2011).



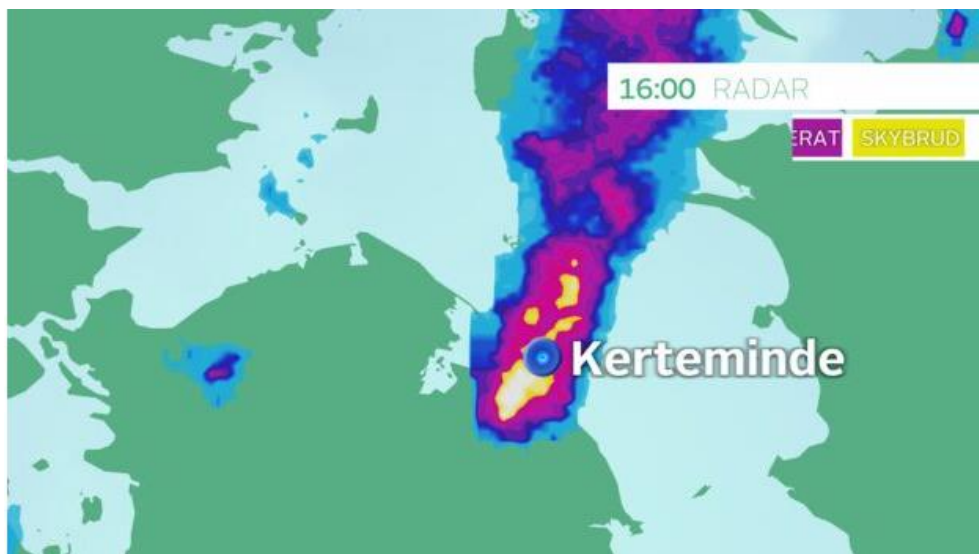
Figur 17 Radar data: Nedbørsmængde i udsnit af Storkøbenhavn. Lilla og orange gridceller markerer nedbørsmængder på over hhv. 150 og 100 mm (kilde Vejret, August 2011 (128))

4.2.7 Frederikshavn, Elling Å, oktober 2014

Oktober 2014, 140 mm regn over 2 døgn, vandløbet gik over sine bredder og medførte store oversvømmelser i Elling ved Frederikshavn.

4.2.8 Kerteminde, juli. 2021

Registrering af 169 mm regn på ca. 2 timer på private målere. Ingen officielle tal for denne hændelse. Mange oversvømmede kældre, veje mm.



Figur 18 Skybrud over Kerteminde 2021 (vejrv2.dk)

4.3 Særlige forhold ift. de danske erfaringer med ekstremnedbør

4.3.1 Hvor har det ramt?

Ovenstående eksempler er ikke en udtømmende liste, men viser et billede af et antal hændelser fordelt over hele Danmark.

Som det fremgår af de udvalgte Danske eksempler, har nedbørshændelserne været fordelt både med hændelser over åbent land og over byer. Oversvømmelser forårsaget af skybrud har været koncentreret i juli og august. Mange af hændelserne kunne have haft betydeligt større konsekvenser hvis de havde ramt bare lidt anderledes. Dette gælder også hændelsen i København 2011, hvor en stor del af den ekstreme nedbør faldt ude over Øresund.

Årsagerne til oversvømmelserne kan opsummeres i følgende tabel

Tabel 5 Opsummering på observerede hændelser i Danmark

Hændelse	Årsag	Måned	Nedbørsdybde
Lønstrup 1877	Skybrud	August	Ukendt
Holstebro, 1970	Tøbrud	Marts	Irrelevant
Greve 2002	Skybrud	August	100 mm
Greve, 2007	Kraftig Regn	Juli	Langvarige hændelser
Christiansfeld 2007	Kraftig regn	Juli	131 mm/2 døgn
Gråsten 2007	Skybrud	August	160 mm

København 2011	Skyrbud	Juli	177 mm (max)
Frederikshavn 2014	Kraftig regn	Oktober	140 mm/2 døgn
Kerteminde 2021	Juli	Skybrud	169

Der er således en stor del af de oversvømmelser vi har haft i Danmark, der kan relateres til skybrud eller kraftig regn over få døgn, men den geografiske udbredelse af disse har været betydeligt mindre end det vi så i Tyskland i sommeren 2021. Nedbørsdybden i de Danske hændelser er dog sammenlignelig med det der er målt i Tyskland på omkring 150 mm på få timer.

De forskellige typer af nedbør er beskrevet i bilag A.

5 Perspektivering af den tyske hændelse til danske forhold

Den tyske hændelse ramte et geografisk stort område med en meget kraftig og sjældent nedbørshændelse som var langt værre, op til 160 mm og dermed ca. dobbelt så stor som forventet ved en 100 års gentagelsesperiode (ca. 80 mm på 24 timer). Målinger har allerede dokumenteret at lignende nedbørsmængder kan forekomme i Danmark, men disse er hidtil forekommet for mindre lokale områder.

Vi har ikke oplevet hændelser med samme geografiske omfang i Danmark, men da vores vandløbsoplande også er meget mindre, kan mindre omfang godt skabe store konsekvenser. Dette skyldes at vores vandløb, tilsvarende har en mindre geometri (tværsnit) og de derved vil oversvømme ved lavere afstrømninger.

Det vurderes, at kraftige frontregn kombineret med konvektiv nedbørsaktivitet vil kunne ramme indenfor et helt opland til et af de danske vandløb. Iht.

Tabel 7 er det største vandløb Gudenåen og dens totale opland udgør til sammenligning kun ca. 20% af det område der blev ramt i Tyskland med ekstremt regn som var sjældnere end en 100-årshændelse.

Det vurderes at det ikke kan udelukkes at noget lignende vil kunne ske i Danmark for et vilkårligt vandopland.

Rammes et helt, eller store dele af et vandløbsopland af en ekstremhændelse, vil konsekvenserne være enorme

De største vandløb i Danmark og Region Midtjylland fremgår af Tabel 7. Rammes et af disse store vandløb af en nedbørsmæssigt ekstrem hændelse i hele eller store dele af oplandet, så vil vandføringerne vil overstige hidtil kendte eller forudsatte niveauer. Det vil således langt overstige de problemer der f.eks. er observeret omkring Silkeborg ved langvarig høj afstrømning i februar 2020.

Dette vil medføre oversvømmelse af allerede kendte kritiske lave områder, men også risiko for materiel skade, hvor f.eks. vandløbets frie tværsnit begrænses af underføringer under vejdæmninger, broer eller på anden vis er reduceret. En særlig risiko kan være forbundet, hvor et vandløb er kunstigt dæmmet op og begrænset, som f.eks. ved Tangeværket ved Gudenåen eller Vandkraftssøen ved Storåen nær Holstebro. Sker et pludseligt dæmningsbrud her eller andre steder, hvor f.eks. en vejdæmning har begrænset kapacitet i underføring af vandløbet, kan betydelige mængder af opstemmet vand blive frigivet som en flodbølge. Et sådant scenarie vil forværre situationen nedstrøms og kan igangsætte en uforudset kaskade af ødelæggelser.

Hvorvidt flere vandløbsstrækninger på hver side af den jyske højderyg (se Figur 19) kan blive ramt på samme tid er selvfølgelig relevant for en katastrofehandlingsplan, men vil ikke umiddelbart påvirke skadesomfanget indenfor hvert enkelt vandopland.

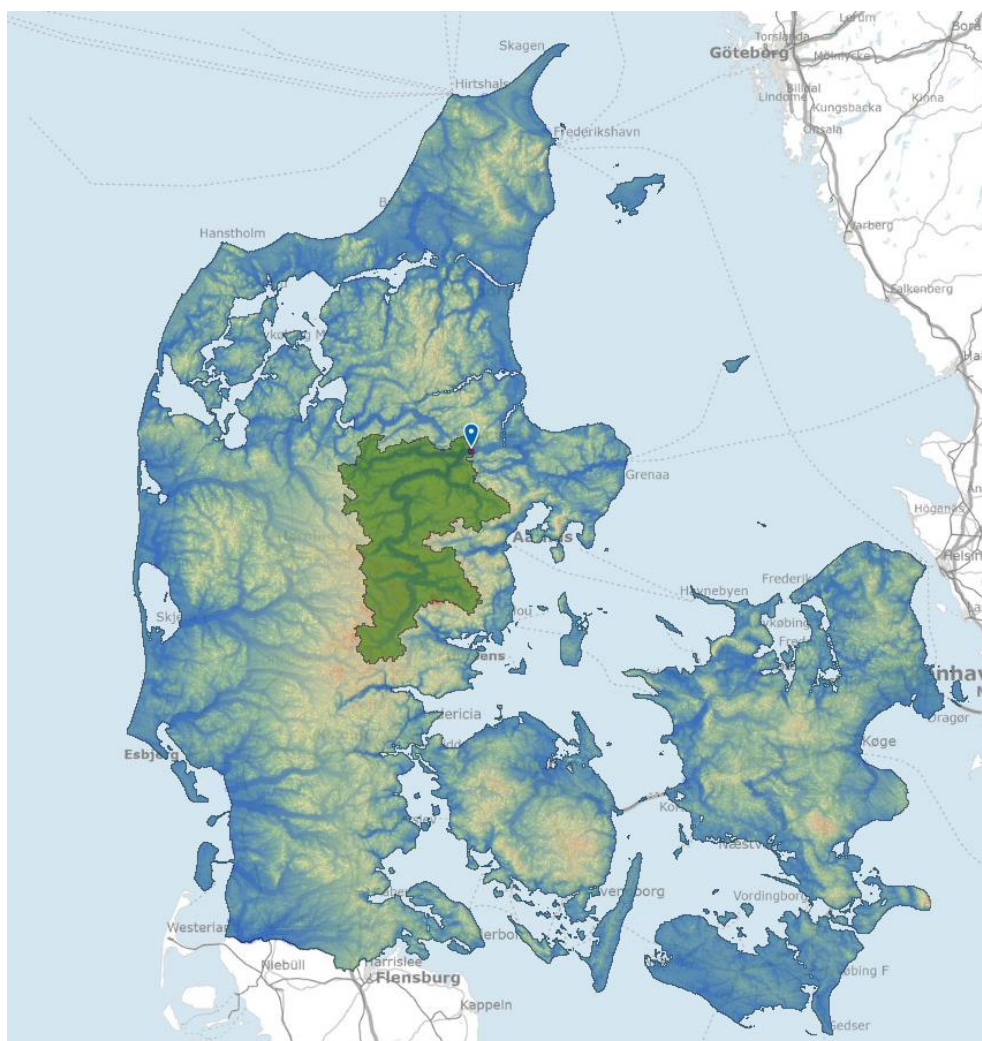
Tabel 6 Arealfordeling af Region Midtjylland

Kommune	Areal [km ²]	% af regionen
Ringkøbing-Skjern	1471	11%
Viborg	1409	11%
Herning	1321	10%
Silkeborg	850	7%
Holstebro	793	6%
Randers	748	6%
Ikast-Brande	734	6%
Norrdjurs	721	6%
Syddjurs	690	5%
Skive	683	5%
Hedensted	551	4%
Favrskov	540	4%
Horsens	519	4%
Lemvig	509	4%
Aarhus	468	4%
Skanderborg	417	3%
Struer	246	2%
Odder	224	2%
Samsø	114	1%
Total for Region Midtjylland	13007	

Tabel 7 De største vandløb indenfor Region Midtjylland

Vandløb	Længde [km]	Oplandsareal [km ²]	~ % af regionen
---------	-------------	---------------------------------	-----------------

Gudenå:	149	2638	20%
Skjern Å	94	2378	18%
Storå	104	1100	8%
Karup Å	83	763	6%
Aarhus Å	40	324	2%



Figur 19 Indikation af hvordan den jyske højeryg er bestemmende for vandskel i Region Midtjylland. Grønt markeret er opland til Gudenåen (Kilde: Scalgo-Live)

Vandmættet jord er en stor risiko

Med de erfaringer der er fra f.eks. Christiansfeld 2007, hvor der er estimeret en vandføring på ca. 35 m³/s, ved plejehjemmet, mod tidligere målte maksimale vandføringer på ca. 10 m³/s. viser at kombinationen af våde perioder og skybrud i oplandet kan medføre store oversvømmelser. Den gennemsnitlige nedbør i oplandet til Christiansfeld var 65 mm over få døgn, heraf afstrømmede 50% i

løbet af samme periode. Dette skyldtes, som vi så i Tyskland, en lang forudgående periode med nedbør, der vandmættede jorden.

Havde udbredelsen af nedbøren omfattet hele oplandet, som i Tyskland kunne det have medført meget værre oversvømmelser og skader på både infrastruktur og veje.



Figur 20 Oversvømmelser ved Christiansfeld 2007. Kapaciteten under broen er opbrugt og vandet stuver op på opstrøms side.

Andre byer i Region Midt har også vandløb med begrænset kapacitet gennem byerne, hvor der ofte er bygget helt tæt på for at udnytte arealerne bedst muligt. Disse vil således være udsat såfremt der optræder en ekstrem hændelse

Mange byområder er udsat

Konkrete udsatte byer i Region midt er:

- > Horsens
- > Holstebro
- > Randers
- > Odder
- > Århus
- > Silkeborg
- > Herning
- > Brande
- > Skjern

og flere andre mindre byområder.

6 Hvordan ruster vi os til fremtidens vejr

Det har gennem byudviklingen de sidste mange år, været en stadig fortætning af de indre bydele, samt udbygning af byområderne omkring eksisterende byer. Disse områder ligger ofte op af de gennemskærende vandløb, hvorumkring byen gennem flere århundreder har udviklet sig.

Der arbejdes nu med klimatilpasning ift. ekstreme afstrømningshændelser og skybrud, der kan medføre afstrømning fra de befæstede arealer. Disse løsninger er dog ofte målrettet hændelser vi kan forudsige, så som en 100 års nedbørshændelse i år 2100.

Vi skal forberede os på det uventede – Vores infrastruktur skal være robust

Det vi har set i Tyskland og også i de Danske erfaringer, er eksempler på hændelser, der optræder med endnu større sjældenhed og som vi ikke har forberedt vores infrastruktur på. Skal vi gardere os mod konsekvenserne af disse hændelser skal vi gøre vores byer endnu mere robuste mod sådanne afstrømninger.

Vi kan ikke lave løsninger hvor vandet magasineres i oplandet, som kan håndtere en hvilken som helst afstrømning, her er vi nødt til at have plads gennem byerne til vandet. Eller vi må være forberedte på de konsekvenser det kan have såfremt vi ikke gør noget.

6.1 Nutidens planlægning

Der planlægges stadig i de tætte byområder, hvor områder langs vandløbene omdannes til bolig eller erhverv, under hensyntagen til de forudsigelige hændelser, men der planlægges ikke efter de ekstreme hændelser der kan betragtes som "worst case". Derfor placerer vi i dag, stadig sårbare installationer langs vandløb, som kan ødelægges ved fremtidige skybrud og ekstremafstrømninger fra vandløb.

Kystdirektoratet har i forbindelse med udpegningen af oversvømmelsestruede arealer ved vandløb udført en national kortlægning af vandløbsoversvømmelser ved nuværende ekstreme afstrømninger med gentagelsesperioder på 100 og 1000 år. Kortlægningen er baseret på GEUS vandføringsstatistik fra 2013. Der er udført en analyse af denne kortlægning og sammenlignet med vedtagne byggefelter i forbindelse med den kommunale planlægning. Resultaterne er gengivet herunder.

Tabel 8 Analyse af vedtagne byggefelter inden for områder truet af vandløbsoversvømmelser

	Kommuner med vedtagne byggefelter indenfor områder truet af vandløbsoversvømmelser		Kommuner uden vedtagne byggefelter indenfor områder truet af vandløbsoversvømmelser
	Antal	Ha	Antal
100 års hændelse	81	900	17
1000 års hændelse	81	1000	17

Analysen viser, at flere end 4 ud af 5 kommuner har udlagt nye byggefelter indenfor arealer som kystdirektoratet har udpeget som oversvømmelsestruet ved ekstreme afstrømninger fra vandløb.

Der kan være lokale forhold, der gør at sandsynligheden for oversvømmelse kan være mindre end anført af kystdirektoratet. Dels er kortlægningen udført med en konservativ tilgang, da det er en landsdækkende screening og dels kan der være specifikke forhold omkring de udlagte byggefelter som gør at risikoen er mindre.

Analysen viser dog at der stadig planlægges indenfor arealer der er udpeget som oversvømmelsestruet. Selvom denne udpegning er konservativ, viser erfaringerne fra Tyskland og også de hændelser vi har haft i Danmark, at der kan forekomme oversvømmelser der overstiger det forventede. Skulle dette ske i nogle af disse områder er der stor sandsynlighed for skader. Vel og mærke skader der kunne være undgået såfremt der ikke havde været udlagt byggeri i disse områder, men at udviklingen i stedet skete i områder uden risiko for oversvømmelse.

Ud fra et cost benefit element kan det sjældent betale sig at sikre eksisterende værdier, mod de meget ekstreme hændelser, da tiltagene er besværlige og meget omkostningstunge. Dette vejes ikke op af den meget lille risiko der er, når sandsynligheden for og konsekvensen ved skader vurderes.

Men når eksisterende områder skal omdannes vil det være god praksis fremover at tage hensyn til det uforudsigelige og bygge op af skråningen frem for at bygge ned.

6.2 Fremtidens klima

De angivne eksempler på danske oversvømmelser og hændelserne i Tyskland i sommeren 2021, er sket under de nuværende klimatologiske forhold.

GEUS har i 2021, offentliggjort resultater af hydrologiske modelleringer på vandkredsløbet i Danmark, baseres på 22 klimamodellers forudsigelser om fremtidens klima både i nær fremtid (2041-2070) og i fjern fremtid (2071-2100), og sammenlignet det med referencesituationen (1990-2019).

Stor usikkerhed om fremtidens afstrømninger

Disse modelleringer viser generelt en storvariation og usikkerhed omkring de fremtidige ekstremafstrømninger i vandløb. Der er for hver enkelt modelkørsel udarbejdet ekstremstatistik på 30 års modeldata og beregnet estimater på fremtidige 100 års hændelser. Sammenlignet med de nuværende ekstremhændelser er der flere eksempler på vandløb hvor de fremtidige 100 års hændelser øges med 50% eller mere.

Det vil have stor betydning for mange byer og medføre betydelige skader såfremt den maksimale vandføring gennem byen øges fra f.eks. 10 eller 20 m³/s til f.eks. 15 eller 30. Som tidligere nævnt er der mange steder bygget helt ned til vandløbet og der er kun meget begrænset reservekapacitet.

Havets stigning gør problemet endnu større

Sideløbende med denne problemstilling stiger vandstanden i havet. Da mange byområder også ligger ud til kysten medfører dette at vandløbene får reduceret deres kapacitet ved denne vandstandsstigning og oversvømmelserne forværres derfor i takt med dette.

7 Referencer

Arnbjerg-Nielsen, K. 2006. Klimaeffektens betydning for ekstremregn og dermed funktionen af afløbssysteme. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 9 2006 af Karsten Arnbjerg-Nielsen, COWI A/S

[Devastating floods in western Europe | EUMETSAT](#)

Junghändel et. al. 2021. Deutscher Wetterdienst. Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021. ([Weather and climate - Deutscher Wetterdienst - Services - Hydro-climatological classification of heavy and continuous precipitation in parts of Germany in connection with the low pressure area "Bernd" from 12 to 19 July 2021. \(dwd.de\)\)](#))

[Kystdirektoratet 2018: Vandløbsoversvømmelser \(kyst.dk\)](#)

Bilag A Omfang og udbredelse af nedbør

Nedenstående beskrivelse er citeret fra Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen Nr. 9 2006 af Karsten Arnbjerg-Nielsen, COWI A/S:

"Der er to hovedtyper af regnvejr i Danmark, konvektiv regn og frontregn. De to typer kan forefindes i rene former eller i form af blandet nedbør, hvor begge typer af nedbør kan forekomme.

Konvektiv regn

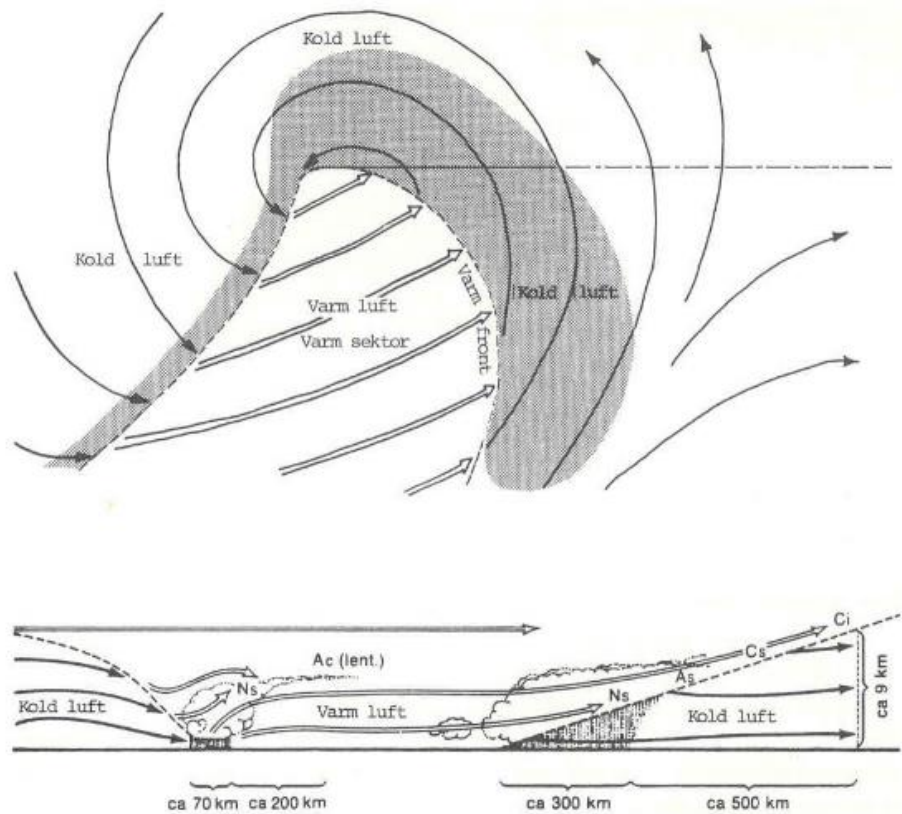
Konvektiv regn opstår ved lokal opvarmning af en luftmasse. Luftmassen stiger hurtigt til vejrs, hvorved den afkøles og bliver overmættet med vand. Den overmættede luftmasse bliver herved ustabil, hvorved der kan forekomme kortvarige perioder med kraftig nedbør. Konvektiv regn består af klynger af nedbørsceller. Hver enkelt celle har typisk en levetid på 20-40 minutter og en udbredelse på få km². Cellerne optræder ofte sammen i klynger som totalt kan have en levetid på en times tid og have en udbredelse på op til 100 km². Niemczynowicz (1990) har ved studier af regnhændelser i Lund beregnet den gennemsnitlige hastighed for celler til ca. 10 m/s. Et bestemt punkt på jordoverfladen passerer dermed af en celle i løbet af få minutter.

I Danmark kan det være forårsaget af højtryk over Rusland, der bevæger sig op over det østlige Danmark. Luften varmes op og stiger til vejrs, hvorved den bliver ustabil og giver skybrud og konvektive regn.

Frontregn

Frontregn optræder når varm luft fra troperne møder kold luft fra polerne. Den varme luft presses op over den kolde luft, hvorved den afkøles. Derved bliver luften overmættet med vand, der udfælder i form af nedbør. Almindeligvis opstår fronterne i et bælte mellem det nordlige Frankrig i syd og det sydlige Norge i nord. Danmark er derfor midt i bæltet og en væsentlig del af den danske nedbør er frontregn. Typisk optræder der både en varmfront og en koldfront sammen, se Figur 21. Varmfronten medfører ofte stille dagsregn, mens koldfronten typisk består af byger med højere intensiteter. Der optræder jævnligt konvektiv nedbørsaktivitet i båndlignende strukturer, primært i koldfronterne."

Frontregn: varmfront der møder kold luft og stiger til vejrs, hvor den afkøles og giver nedbør. Typisk nedbør i Danmark i form af dagsregn (sileregn).



Figur 21 Strukturen af et vandrende lavtryk med fronter og skyformer. Figuren er fra Jensen et al (1984)

Erfaringer fra tidligere skybrud og nyere forskning indikerer at konvektiv regn kan dannes systematisk og opbygges i styrke og varighed ved at kolliderer med hinanden. Tendens til dette øges med stigende temperatur særligt for de tempererede breddegrader (Kilde: Forskere opklarer proces til dannelse af skybrud, Jan O. Haerter, Niels Borh Insitutet August 2016).



Figur 22 Billede af skybrud, Kilde: SETH RESNICK/SUPERSTOCK/CORBIS, Nature nr. 494, 2013