

Bilag 6

Samfundsøkonomiske konsekvenser af stormflodssikring af Kalveboderne

For Københavns Kommune og Hvidovre Kommune

Udarbejdet af Kristian Kolstrup, Patrick Friis Espensen og Torben Franch

7. juli 2020

1 Sammenfatning

Hvidovre og Københavns kommuner er i gang med at afdække mulighederne for at sikre sig mod stormflod fra syd. Dette notat redegør for de forventede gevinster og omkostninger mellem 2020 og 2120 ved at bygge sikringen.

Gevinsterne ved at etablere stormflodssikring er fra 2020 til 2120 større end omkostningen ved at bygge sikringen. Nettonutidsværdien af at stormflodssikre Hvidovre og København mod stormflod fra syd er mellem 0,6 og 2,8 mia. kr. alt efter, hvilken anlægsløsning der vælges. Analysen peger derfor på, at det er samfundsøkonomisk rentabelt at stormflodssikre Hvidovre og København mod stormflod fra syd.

Fra 2020 til 2120 koster det mellem 2,4 og 4,7 mia. kr. i nutidsværdi at sikre Hvidovre, København og Tårnby kommuner mod alle stormfloder fra syd op til 5 meter.¹ Til gengæld undgår samfundet omkostninger for samlet 5,1 mia. kr.

De samlede gevinster ved at stormflodssikre er undervurderede, da:

¹ Dette er nutidsværdien af anlægsomkostningerne samt drift og vedligehold frem til 2120. I 2120 vil anlægget stadig have en restværdi på 0,1-0,2 mia. kr.

- Ikke alle gevinster er medregnet. Fx indgår skader på natur og havmiljø ikke i beregningerne.
- Gevinster fra Tårnby Kommune ikke indgår, selvom anlægsomkostninger i Tårnby indgår. Det skyldes, at sikring placeret i Tårnby er nødvendig for at sikre Hvidovre og København fuldt ud.

De skader, der undgås ved at stormflodssikre, er dels materielle skader, men også fx driftstab for trafikelskaber og forsinkelsestid for rejsende. Skaderne ved stormflod rammer særligt bygningsejere. Med stormflodssikring undgår de forventede skader for 2,8 mia. kr.

Derudover undgår selskaberne Banedanmark, DSB, Københavns Lufthavn, Metroselskabet og Sund & Bælt skader for 0,6 mia. kr., mens trafikanter på vej, med kollektiv transport og fly undgår forsinkelsesgener for 1,6 mia. kr.

2 Indledning

I dette notat beskriver vi de samfundsøkonomiske gevinster ved at etablere stormflodssikring i Kalveboderne. I analysen sammenligner vi to scenarier:

1. Basis: Ingen ny stormflodsbeskyttelse, så stormflodsrelaterede skader kan indtræffe med en vis sandsynlighed mellem 2020 og 2120.
2. Projekt: Der stormflodssikres, så alle stormflodsrelaterede skader undgås mellem 2020 og 2120.

Analysen gennemgår, hvor mange omkostninger selskaber, trafikanter og andre forventes at undgå, hvis der stormflodssikres. Formålet med analysen er at bidrage til at optimere sikringsniveauet og danne grundlag for udarbejdelse af en retfærdig fordeling i bidragsmodellen. Bidragsmodellen er beskrevet i notatet ”Bidragsmodeller og juridisk vurdering - Stormflodssikring af Kalveboderne” (Lundgrens, 2020).

Værdisatte effekter

I analysen indgår de væsentligste samfundsøkonomiske effekter i form af tab for bygningsejere, trafikanter og infrastrukturselskaber, jf. tabel 1. Effekterne for bygningsejere og for infrastruktur for el og vej er alene opgjort for Københavns Kommune og Hvidovre Kommune, mens de andre elementer er opgjort for alle påvirkede.

Tabel 1

Oversigt over effekter, vi har opgjort i analysen

Kategori	Interessent	Element
Selskaber	Banedanmark (infrastruktur)	Fysiske skader på infrastruktur
	DSB	Driftstab
	Københavns Lufthavn	Driftstab og fysiske skader på infrastruktur
	Metroselskabet	Driftstab og fysiske skader på infrastruktur
	Sund & Bælt	Driftstab og fysiske skader på infrastruktur
Trafikanter	Flypassagerer	Gene ved forsinkelse
	Kollektivt rejsende	Gene ved forsinkelse
	Vejtrafikanter	Gene ved forsinkelse
Andre	Bygningsejere	Fysiske skader, genhusning, sygdom, mm. ¹
	Infrastruktur - el	Fysiske skader på infrastruktur
	Infrastruktur - vej	Fysiske skader på infrastruktur
	Jernbanegodsoperatører	Driftstab

Note: ¹ Se en komplet oversigt i bilag 2.

Vi gennemgår beregningerne for hver af disse omkostninger i afsnit 5. Skader for bygningsejere (dog ikke huspriser) og kommunal infrastruktur er opgjort i Rambøll (2020). De skadesomkostninger, der er opgjort af Rambøll (2020), har vi her vist for overordnede kategorier. Bilag 2 viser sammenhængen mellem opgørelsen i Rambøll (2020) og dette notat.

Derudover har vi også vurderet den omkostning, der er forbundet med risikoen for, at Avedøreværket oversvømmes, samt at strømforsyning afbrydes. Vi vurderer, at det er ubetydeligt for den samfundsøkonomiske analyse. Dette uddybes i bilag 3.

Ikke-værdisatte effekter

Der er mange konsekvenser af stormflod. Ud over ovenstående effekter er der en række samfundsøkonomiske effekter, som vi ikke har værdisat. Det drejer sig fx om:

- skader på natur og havmiljø.
- rekreativ brug af havnen til badning.
- trygheden i at vide, at en stormflod ikke skader byerne.

Effekterne er ikke medtaget, enten fordi de er vanskelige at værdisætte, eller fordi vi forventer, at effekterne opgjort i kroner er små, når man tager højde for både konsekvenserne, hvis skaden indtræffer, samt sandsynligheden for, at det sker.

Ændringer og tilføjelser i forhold til tidligere analyser

Der er tidligere lavet analyser af de samfundsøkonomiske konsekvenser ved at stormflodssikre Kalveboderne. I denne analyse har vi bidraget med følgende ændringer og tilføjelser i forhold til analysen "Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København" (COWI, 2016):

- Ny modellering af, ved hvilke vandstande og med hvilke sandsynligheder de samfundsøkonomiske konsekvenser indtræffer, jf. Rambøll (2020).
- Ny måde at beregne de sandsynlighedsvægtede konsekvenser, bl.a. ved brug af Monte Carlo-simuleringer.
- Ny vurdering af skader på bygninger og kommunal infrastruktur, jf. Rambøll (2020).
- Opdatering af tal for skade i de tilfælde, hvor infrastrukturselskaberne har haft nye oplysninger.
- Nye vurderinger af driftstab for infrastrukturselskaber.
- Nye vurderinger af forsinkelser for kollektivt rejsende.
- 3 nye delanalyser, hvor vi har opgjort de samfundsøkonomiske omkostninger ved:
 - at det internationale jernbanegods påvirkes.
 - at huspriserne i Hvidovre og København påvirkes.
 - at de eksisterende vejtrafikanter påvirkes, når en del af de kollektivt rejsende skifter til bil, som følge af at den kollektive trafik er påvirket.

2.1 Om samfundsøkonomi

Formålet med samfundsøkonomiske analyser er at sammenveje fordele og ulemper ved et tiltag. Alle fordele og ulemper omsættes til en monetær værdi, så de kan sammenlignes.

Nogle effekter, fx anlægsomkostninger og skadesudbedring, opgøres naturligt monetært, mens andre, fx værdien af at spare 1 times rejsetid, kræver en værdisætning for at kunne indgå i sammenligningen. For at værdisætte effekter anvender vi Transport- og Boligministeriets officielle vejledninger og nøgletal til brug for samfundsøkonomiske analyser (Transportministeriet, 2015).

Ulemperne ved en stormflodssikring er anlægsomkostningerne og udgifterne til drift og vedligeholdelse.

Den samfundsøkonomiske fordel er opgjort ved at skønne værdien af de skader, der vil opstå, hvis man ikke laver en sikring. Hvis sikring ikke etableres, vil der hvert år være en vis sandsynlighed for, at en stormflod indtræffer med en lang række konsekvenser til følge. Det er denne sandsynlighedsvægtede undgåede skadesomkostning, vi regner på indtægtssiden i det samfundsøkonomiske regnestykke.

Hvis der indtræffer en storm, vil det have en lang række effekter for mange interessenter. Nogle aktører har en risiko for at få skadet deres infrastruktur. Det koster penge at udbedre, og hvis det er transportinfrastruktur, betyder det, at de rejsende får længere rejsetid, da de i stedet må bruge andre transportmidler og ruter.

På de følgende sider opgør vi de samfundsøkonomiske gevinster med fokus på de konsekvenser, der har størst samfundsøkonomisk betydning.

Vurdering af risiko

I analysen har vi – som det er standard i denne type analyser – vurderet alle konsekvenser ud fra en forudsætning om, at alle interessenterne er risikoneutrale. Risikoneutralitet betyder, at interessenterne synes, at en lille skade på fx 0,1 mio. kr., der sker med 100% sandsynlighed, er lige så slemt som en skade på 10 mio. kr., der sker med 1% sandsynlighed.² Det behøver ikke nødvendigvis at være tilfældet. Undersøgelser (bl.a. CEBR 2008) viser, at voksne danskere generelt er risikoaverse, hvilket betyder, at de i ovenstående eksempel foretrækker skaden på 1 mio. kr. med 100% sandsynlighed. Hvis interessenterne er risikoaverse, betyder det, at analysen undervurderer værdien af at undgå skader, der forekommer ved høje vandstande (dvs. med små sandsynligheder).

Lokale forskydninger og fordelingsøkonomi indgår ikke i samfundsøkonomisk analyse

Samfundsøkonomisk analyse har en national afgrænsning. Der kan derfor være byøkonomiske konsekvenser for Hvidovre og København, der ikke indgår, fordi hele eller hovedparten af effekten ikke er en effekt på samfundet som helhed. Et eksempel er virksomheder, der flytter til andre kommuner.

På samme måde kan enkelte institutioner eller personer blive ramt økonomisk, uden at det indgår i den samfundsøkonomiske analyse. Det gælder fx turistattraktioner, hvor nogle givetvis bliver påvirket af en stormflod. Tabet i indtægter for den enkelte attraktion kan være betydeligt, men det bliver i den samfundsøkonomiske analyse (delvist) opvejet af øgede indtægter for andre turistattraktioner. Derfor vil effekterne på samfundet som helhed af oversvømmede turistattraktioner sandsynligvis være relativt små.

Konsekvenser for fordelingen indgår ikke i den samfundsøkonomiske analyse og behandles derfor ikke i dette notat.

3 Resultater

Nutidsværdien af alle sandsynlighedsvægtede (forventede) undgåede skader fra 2020 til 2120 er 5,1 mia. kr., jf. tabel 2. I bilag 1 er resultaterne også opdelt på skadestype.

² Det forventede resultat af de to hændelser er ens: $0,1 \text{ mio. kr.} \cdot 100\% = 10 \text{ mio. kr.} \cdot 1\%$.

Tabel 2

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

Kategori	Interessant	Undgåede skader
Selskaber	Banedanmark	20
	DSB	20
	Københavns Lufthavn	410
	Metroselskabet	80
	Sund & Bælt	40
Trafikanter	Flypassagerer	1.120
	Kollektivt rejsende	310
	Vejtrafikanter	200
Andre	Bygningsejere	2.770
	Infrastruktur - el	0
	Infrastruktur - vej	60
	Jernbanegodsoperatører	90
Total		5.140

Kilde: Egne beregninger.

Note: Undgåede skader angiver forskellen mellem et basisscenarie, hvor der ikke stormflodssikres yderligere, og et projektscenarie, hvor der sikres mod alle stormfloder fra syd. Resultatet udtrykker dermed de forventede skader fra 2020 til 2120 i nutidsværdier.

Værdien af bygningsejernes skade er 2,8 mia. kr. Det dækker over privat beboelse, erhverv (skader, produktionstab og løvsøre), elsvigt, sygdom og lavere huspriser. Der er også store forsinkelsestab for både flypassagerer og Københavns Lufthavn, der har en forventet omkostning på hhv. 1,1 mia. kr. og 0,4 mia. kr.

Resultatet er behæftet med usikkerhed

Vores vurdering af de undgåede skader er et resultat af de forudsætninger og tilgange, vi har anvendt, og af den samfundsøkonomiske metode.

I den samfundsøkonomiske metode, der er fastsat af Finansministeriet, er resultatet særligt påvirket af, at omfordeling mellem kommuner ikke medtages, jf. afsnit 2.1, og at den officielle diskonteringsrente betyder, at undgåede skader i slutningen af perioden får en relativt lille betydning for det samlede resultat, når det opgøres i nutidsværdi. Vi har uddybet diskonteringsrenten i afsnit 4.2, og følsomhedsanalyser med en lavere og højere diskonteringsrente fremgår af bilag 4.

Gevinsterne ved at sikre mod stormflod er større end omkostningerne

Anlægsoverslaget for at stormflodssikre Hvidovre og København mod vandstande op til 5 meter er 1,6-3,2 mia. kr.³ Ud over selve sikringen ved Kalveboderne inkluderer overslaget de øvrige sikringer i såvel Hvidovre og København som i nabokommuner⁴, der er nødvendige for fuld beskyttelse.

Dertil kommer 32-63 mio. kr. om året i drift og vedligehold.⁵ Nutidsværdien af alle omkostninger til drift og vedligehold fra 2021 til 2120 er 780-1.530 mio. kr. med anvendelse af standarddiskonteringsrenter (se afsnit 4.2). Samlet set er nutidsværdien af omkostningerne ved at sikre mod stormflod fra syd på mellem 2,4 og 4,7 mia. kr. fra 2020 til 2120.

Stormflodssikringen vil stadig have en restværdi efter analyseperiodens slut i 2120. Det antages som sædvanligt (se Transportministeriet, 2015), at restværdien er lig med den oprindelige anlægsomkostning på 1,6-3,2 mia. kr., fordi anlægget vedligeholdes fuldt ud. Værdien skal dog diskonteres til analyseperiodens slutår 2120, hvor den er på 80-160 mio. kr.

Til sammenligning er nutidsværdien af at undgå skader 5,1 mia. kr., jf. tabel 2. Derfor er den samlede samfundsøkonomiske gevinst ved at sikre Hvidovre og København mod stormflod fra syd mellem 0,6 og 2,8 mia. kr., jf. tabel 3. Det inkluderer ikke gevinster i Tårnby (bortset fra Københavns Lufthavn), mens anlægsomkostninger derfra er inkluderet. Nettonutidsværdien ville være højere, hvis gevinster i Tårnby blev indregnet.

Tabel 3

Gevinster og omkostninger ved at sikre Hvidovre og København mod stormflod fra syd, nutidsværdi 2020, mio. kr.

	Undgåede skader ¹	Anlægsoverslag inkl. drift og vedligehold ²	Restværdi	Nettonutidsværdi
Nordlig placering	5.140	-(3.200-3.400)	110	1.850-2.040
Midterste placering	5.140	-(2.400-4.680)	80-160	620-2.820
Sydlig placering	5.140	-(3.600-3.820)	120-130	1.450-1.670
Samlet	5.140	-(2.400-4.680)	80-160	620-2.820

Kilde: Egne beregninger på Rambøll (2020).

Note: ¹ De undgåede skader for bygningsejere og kommunal infrastruktur er kun opgjort for Hvidovre og Københavns kommuner. Hvis gevinsterne for Tårnby Kommune blev medregnet, ville nettonutidsværdien være højere.

² Vi forudsætter, at det tager 3 år at bygge sikringen. Det betyder, at vi fordeler anlægsomkostningerne fra 2020 til 2022, og at der er omkostninger til drift og vedligehold fra 2023 til 2120. Alle anlægsoverslag er inkl. sikring ud over Kalveboderne på 512 mio. kr. i Hvidovre og København og 505 mio. kr. i nabokommunerne.

Vi har ikke i analysen vurderet, om der kan iværksættes billigere lokale tiltag, der afværger risikoen for oversvømmelse lokalt, fx metroen eller lufthavnen.

³ Kilde: Rambøll, (2020).

⁴ Det er ikke fastlagt, præcis hvilke kommuner den ekstra sikring skal bygges inden for. En del af den skal bygges i Tårnby (se Rambøll, 2020).

⁵ Kilde: Rambøll (2020).

Interessenter rammes forskelligt ved forskellige koter⁶

Effekterne er sammenvægtet af mulige skader, der indtræffer med små sandsynligheder, men som til gengæld er meget store, hvis de indtræffer. Tabel 4 viser, hvor stor omkostningen er for hver interessent, hvis der kommer en stormflod.

Tabel 4

Nutidsværdi 2020 af omkostning ved given kote, mio. kr.

Tal er ikke vægtet med sandsynlighed for, at stormflod indtræffer.

År	2020			2120			
	3,00	3,50	4,25	3,50	4,25	5,00	
Kote ved Kalveboderne, meter							
Selskaber	Banedanmark	0	90	180	10	10	50
	DSB	0	0	140	0	10	60
	Københavns Lufthavn	0	5.310	5.310	260	260	260
	Metroselskabet	0	0	0	0	0	250
	Sund & Bælt	0	0	0	0	0	140
Trafikanter	Flypassagerer	0	7.740	7.740	1.280	1.280	1.280
	Kollektivt rejsende	0	0	1.040	0	130	1.520
	Vejtrafikanter	50	1.080	1.650	140	170	240
Andre	Bygningsejere	1.660	6.580	11.390	330	580	1.890
	Infrastruktur - el	0	0	0	0	0	0
	Infrastruktur - vej	40	190	330	10	20	50
	Jernbanegodsoperatører	0	600	600	70	70	70
Total	1.750	21.590	28.390	2.100	2.520	5.800	

Kilde: Egne beregninger.

Der er stor forskel på, hvordan omkostningerne fordeler sig på interessenter alt efter, hvor stor en oversvømmelse bliver. Ved en kote på 3,0 ved Kalveboderne i 2020 ligger 95% af omkostningerne hos bygningsejerne, mens det er 40% ved en kote på 4,25, jf. tabel 4.

Den interessentfordeling i tabel 2, der ligger til grund for bidragsmodellen (Lundgrens, 2020), er således udtryk for et sandsynlighedsvægtet gennemsnit af skadesomkostninger for alle potentielle koter fra 2020 til 2120.

Omkostningerne ved en konkret stormflod i et givent år vil derfor i praksis kunne fordele sig anderledes end den fordeling, der anvendes i bidragsmodellen, da den dækker over den gennemsnitlige forventning til interessenternes omkostninger. Ved stormfloder op til kote 3,0 ved Kalveboderne (som er de mest sandsynlige) vil bygningsejerne stort set være de eneste, der rammes. Ved usandsynlige stormfloder over 3,0 meter bliver både selskaber og trafikanter også ramt. Pga. disse sandsynligheder er det derfor også bygningsejere, der har de største forventede omkostninger, hvis ikke der stormflodssikres, jf. tabel 2.

⁶ "Kote" er et udtryk for, hvor langt vandstanden ligger over normalen.

4 Metode og tilgang

I dette afsnit beskriver vi metode og tilgang til at beregne de samfundsøkonomiske konsekvenser.

4.1 Tilgang

Vi har opgjort de samfundsøkonomiske konsekvenser (se tabel 2) i 4 trin:

1. Vi har opgjort omkostningerne ved en stormflod i år 2020 med en given kote.
2. Vi har fremskrevet omkostningerne ved en stormflod til år 2021-2120 og derefter tilbagediskonteret dem til en nutidsværdi for hvert år.
3. Vi har brugt Monte Carlo-simulation til at til at beregne den sandsynlighedsvægtede værdi for hver hændelse i hvert år (se afsnit 4.4).
4. Vi har summeret effekterne for alle årene.

Nogle skader opgøres binært, dvs. de indtræffer ved en vis kritisk kote, og ellers indtræffer de ikke. Størrelsen på andre skader afhænger af vandstands niveauet. Vi regner resultaterne for 8 udvalgte vandstands niveauer mellem 1,5 og 5,0 meter. Hvis koten et givent år simuleres til at ligge imellem de beregnede punkter, interpolerer vi lineært mellem dem.

4.2 Centrale forudsætninger

Fakta

Centrale forudsætninger

- For 2020-2055 diskonterer vi alle omkostninger med 4% om året, for 2055-2090 med 3% om året og for 2090-2120 med 2% om året (jf. Finansministeriet, 2019).
- Vi benytter Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91 i opgørelser af tidsværdier. I 2020 har en time en værdi på 125 kr.⁷ Da tidsgevinster fremskrives med udviklingen i BNP, er værdien af en time i 2120 305 kr.
- Alle priser i notatet er 2020-priser uanset årstal (faste priser). For kilder, der bruger andre opgørelsesår, har vi fremskrevet med nettoprisindekset, hvis ikke andet er angivet.

Diskonteringsrente og nutidsværdi

Diskontering er et centralt element i samfundsøkonomiske analyser, da det muliggør sammenligning af nutidige og fremtidige værdier. Den vægt, som anvendes til at tilbagediskontere fremtidige værdier til nutidsværdier, er den samfundsøkonomiske diskonteringsrente (Finansministeriet, 2017).

Sammenlagt medfører de anvendte diskonteringsrenter, at en omkostning på fx 1 mio. kr. i 2050 har en såkaldt nutidsværdi på 0,29 mio. kr., mens 1 mio. kr. i 2120 har en nutidsværdi på 0,05

⁷ Vi bruger et vægtet gennemsnit af alle turformål.

mio. kr. Diskonteringsrenten afspejler samfundets alternative afkast, hvis ressourcerne anvendes anderledes. Det diskuteres internationalt, om diskonteringsrenten skal være anderledes ved projekter med en meget lang tidshorizont. Diskussionen var medvirkende til, at Finansministeriet overgik til den nuværende diskonteringsrente, der falder til 2% for konsekvenser, der er mere end 70 år ude i fremtiden.

Vi benytter de officielle diskonteringsrenter, der er fastsat af Finansministeriet (2019), til brug for samfundsøkonomiske analyser. Det er standardpraksis at bruge disse i samfundsøkonomiske analyser, og de bliver brugt til alle typer gevinster og omkostninger. Fx bruger Klimarådet de samme diskonteringsrenter til at sammenligne CO₂-udledninger i forskellige år (se fx Klimarådet, 2017). For at illustrere, hvilken betydning valget af diskonteringsrente har, har vi udført følsomhedsanalyser med lavere og højere diskonteringsrenter i bilag 4.

4.3 Lukningsperioder for større transportinfrastruktur

En stormflod kan skade både passager- og godstransport med tog, metro, bil og fly. Vi har her opgjort 9 forskellige konsekvenser for større transportinfrastruktur.⁸

Infrastrukturen forventes at være ude af drift i mellem ½ og 1 år, jf. tabel 5.

⁸ Derudover er der trafikforstyrrelser på hovedveje, som er opgjort i afsnit 5.5.

Tabel 5

Analyserede skader på større transportinfrastruktur

Infrastruktur	Lukningsperiode, dage	Kote ved Kalveboderne, skade indtræffer ved ¹²
S-tog (Køgestrækningen) ¹	365 ⁶	3,88 ¹³
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen) ²	365 ⁶	4,38
Fjerntog ³	365 ⁶	4,38
Metro M1+M2 ⁴	319 ⁷	4,38
Metro M3+M4 ⁴	274 ⁸	4,38 ¹⁴
Københavns Lufthavn ⁴	365 ⁹	3,25
Øresundsbroen (tog) ⁴	183 ¹⁰	4,38
Øresundsbroen (bil) ⁴	183 ¹⁰	4,38
Godstransport på jernbane ⁵	365 ¹¹	3,25

Kilder og noter:

¹ Bane mellem Brøndby Strand St. og Avedøre St. oversvømmes.

² Hovedbanegården oversvømmes.

³ Hovedbanegården oversvømmes.

⁴ Helt ude af drift. Metrolinjerne er ude af drift, fordi kontrolcentrene på Metrovej og Dybbølsbro oversvømmes. Øresundsbroen oversvømmes ved tunnelen ud fra Amager.

⁵ Bane ved Sjællandsbroen oversvømmes.

⁶ COWI (2016).

⁷ Interview med Metroselskabet. Dækker over, at M1 forventes helt ude af drift i 4 måneder og 50% ude af drift i yderligere 4 måneder. Vi antager, at det svarer til, at M1 er helt ude af drift i 6 måneder. M2 forventes helt ude af drift i 12 måneder og 50% ude af drift i 6 måneder. Vi antager, at det svarer til, at M2 er helt ude af drift i 15 måneder. M1+M2 regnes som 10,5 måneders driftsmangel, dvs. 319 dage.

⁸ Interview med Metroselskabet. M3+M4 forventes helt ude af drift i 6 måneder og 50% ude af drift i yderligere 6 måneder. Vi antager, at det svarer til, at M3+M4 er ude af drift i 9 måneder, dvs. 274 dage.

⁹ COWI (2016).

¹⁰ Interview med Sund & Bælt. Sund & Bælt forventer 1-12 måneders afbrydelse. Vi anvender et centralt skøn på 6 måneder, dvs. 183 dage.

¹¹ Skøn, Incentive.

¹² Der kan forekomme mindre skader ved lavere koter. Koterne er baseret på simuleringerne i Rambøll (2020) og er taget som "midterpunkter" mellem simuleringerne. Eksempelvis er lufthavnen ikke oversvømmet ved en oversvømmelse med en kote på 3,0 ved Kalveboderne, men er oversvømmet, hvis koten er på 3,5 meter. Vi anvender midterpunktet 3,25 meter.

¹³ Opgangene til Sydhavn St. og Sjælør St. oversvømmes ved lavere vandstande, så stationerne er ude af drift. Da banen ikke oversvømmes, er omkostningen lille, fordi togene stadig kan køre planmæssigt og springe de to stationer over.

¹⁴ Enkelte M4-stationer ved Sluseholmen kan blive oversvømmet inden, men effekten skønnes at være lille.

Note: Skaderne opgøres binært. Det betyder, at de indtræffer, hvis vandstanden under en stormflod overstiger det angivne niveau. Ellers er omkostningen 0.

Når tog- og metrostrækninger skades, vil nogle passagerer skifte til bil. For hver af disse hændelser medregner vi derfor den trængselsforsinkelse, som flere biler på vejene skaber.

4.4 Monte Carlo-simulation: Sandsynlighedsvægtning af omkostninger

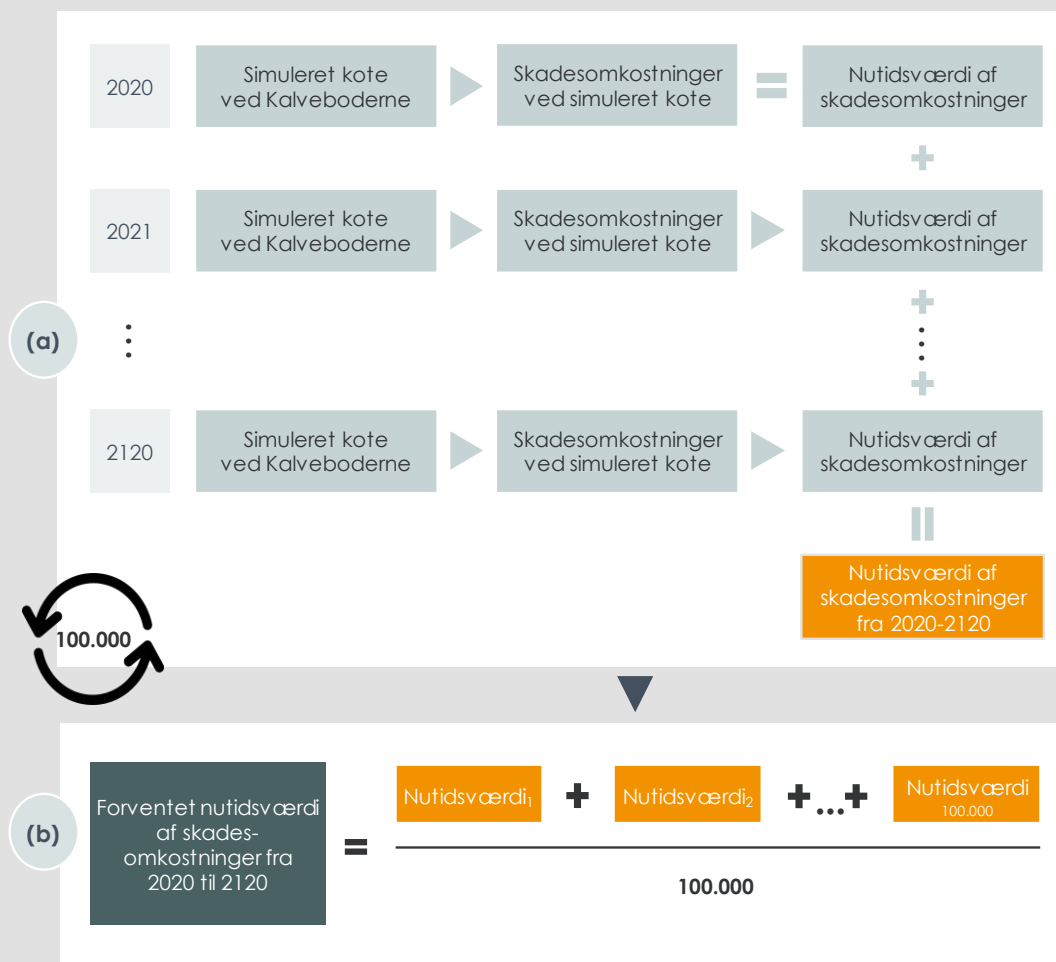
Vi beregner for hver skadestype beskrevet i afsnit 3, hvor stor omkostningen bliver, hvis skaderne indtræffer. I dette afsnit beskriver vi, hvordan vi kombinerer omkostningerne med sandsynligheden for, at en skade indtræffer, for at få det samlede resultat af analysen.

Vi bruger Monte Carlo-simulation til at udregne sandsynligheder for vandstands niveauer og de dertilhørende omkostninger. Monte Carlo-simulation er en metode, der bruges til at beregne middelværdier af fordelinger, der ikke har simple egenskaber. I dette tilfælde er det vandstandsfordelingen. Vi beregner den som en kombination af den historiske

vandstandsfordeling (som COWI (2016) anslår til omtrent log-normal) og trendkurven (som COWI (2017) anslår til polynomisk).

Fakta

Monte Carlo-simulation (for hver skade)



Vi simulerer ét scenarie med en kote i hvert år af på baggrund af den sandsynlighedsfordeling for vandstand, som er beregnet i COWI (2017). Vi uddyber dette i bilag 5 og viser de undgåede skader, hvis man korrigerer for DMI's (2017) vurdering af sjældne højvandstande. I hvert år medfører vandstanden skadesomkostninger, der omregnes til nutidsværdi, jf. (a) ovenfor. Summen af disse skader er den samlede nutidsværdi af skadesomkostningerne for scenariet.

For at få stabile resultater i Monte Carlo-simulationen beregnes 100.000 scenarier. Den forventede nutidsværdi af skaderne for 2020-2120 er gennemsnittet af alle disse scenarier, jf. (b) ovenfor. På den måde tager Monte Carlo-simulationen højde for, at de sandsynlighedsvægtede omkostninger ved skader indgår korrekt for alle vandstande.

Disse trin gentages for hver skadestype.

Der forventes en havvandsstigning på 0,87 meter fra 1990 til 2100 pga. klimaforandringer (COWI, 2017a). I tråd med COWI (2016) antager vi, at vandstanden stiger polynomisk og fortsætter med samme rate frem til 2120. I bilag 6 viser vi gevinsten ved undgåede skader, hvis man i stedet forudsætter lineær eller eksponentiel vækst. Antagelsen om polynomisk vækst fører til højere resultater og kan derfor overvurdere skadesomkostningerne, hvis havvandsstanden i virkeligheden nærmere følger en lineær eller eksponentiel vækst.

Jo flere simulationer, man kører, jo mere stabiliserer resultatet sig. En enkelt simulation kan give meget få undgåede skader, hvis der ikke kommer nogen høje vandstande. En enkelt simulation kan også give mange undgåede skader, fordi der kommer flere høje vandstande. Ved at simulere 100.000 gange sikrer vi os, at resultatet er stabilt og udtryk for det forventede skadesniveau.

Bilag 7 viser, hvordan usikkerheden mindskes ved at køre mange simulationer. Den viser også, at 95%-konfidensintervallet er +/- 50 mio. kr. for de samlede undgåede skader. Det betyder, at de samlede undgåede skader ved at stormflodssikre med 95% statistisk sandsynlighed ligger mellem 5.090 og 5.190 mio. kr. i basisscenariet.

5 Baggrund

5.1 Bygningsejere

Anlæg (boliger, erhvervsskader og elsvigt)

I 2020 fører en stormflod med en vandstand på 4,25 meter til omkostninger på 5,3 mia. kr. for privat beboelse, jf. tabel 6. Omkostningerne dækker over direkte skadesudbedring for stue- og kælderetager samt genhusning og oprydning.

Tabel 6

Nutidsværdi af omkostning for privat beboelse¹ i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	10	0	0	0
1,75	110	30	10	10
2,00	240	70	30	10
3,00	1.070	330	130	50
3,50	2.470	760	300	120
4,25	5.260	1.620	640	260
4,50	17.630	5.430	2.130	880
5,00	21.950	6.770	2.660	1.090

Kilde: Rambøll (2020).

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

¹ Privat beboelse består af skader på stue- og kælderetager samt genhusning og oprydning.

I 2020 fører en stormflod med en vandstand på 4,25 meter til omkostninger på 5,2 mia. kr. for erhverv, jf. tabel 7.

Tabel 7 **Nutidsværdi af omkostning for erhverv (skader, produktionstab og løsøre) i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.**

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	20	10	0	0
2,00	20	10	0	0
3,00	350	110	40	20
3,50	3.650	1.130	440	180
4,25	5.240	1.620	630	260
4,50	10.880	3.350	1.320	540
5,00	12.310	3.800	1.490	610

Kilde: Rambøll (2020).

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Ud over privat beboelse og erhverv har vi medregnet elsvigt for private og erhverv. Omkostningen til dette er lille.

Sygdom

I 2020 fører en stormflod med en vandstand på 4,25 meter til sygdomsomskostninger på 220 mio. kr., jf. tabel 8.

Tabel 8 **Nutidsværdi af omkostninger ved sygdom¹ i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.**

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	0	0	0	0
2,00	10	0	0	0
3,00	20	10	0	0
3,50	90	30	10	10
4,25	220	70	30	10
4,50	1.090	340	130	50
5,00	1.400	430	170	70

Kilde: Rambøll (2020).

¹ Sygdom dækker over norovirus, hepatitis A, leptospirose samt mental stress og angst.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Note: Vi regner med, at omkostningerne tilfalder virksomheder i form af tabt produktivitet. I praksis vil en lille del af skaderne dog tilfalde den offentlige sundhedssektor.

Huspriser

I tillæg til materielle skader kan oversvømmelse føre til permanent værditab for udsatte boliger i Hvidovre og København. Stormflodssikring vil i så fald give en tryghed for, at huspriserne ikke falder som følge af oversvømmelse.

Husprisfald i Jyllinge efter oversvømmelser

Jyllinge Nordmark er et område i den nordlige del af Roskilde Kommune, der ligger ud til Roskilde Fjord. Jyllinge Nordmark har i løbet af de seneste 10 år været ramt af adskillige større og mindre oversvømmelser. De to største og mest ødelæggende var afledt af stormene:

- Bodil i december 2013
- Urd i december 2016.

Vi bruger udviklingen i Jyllinge Nordmarks huspriser som en case for, hvor meget stormfloder kan påvirke huspriser.

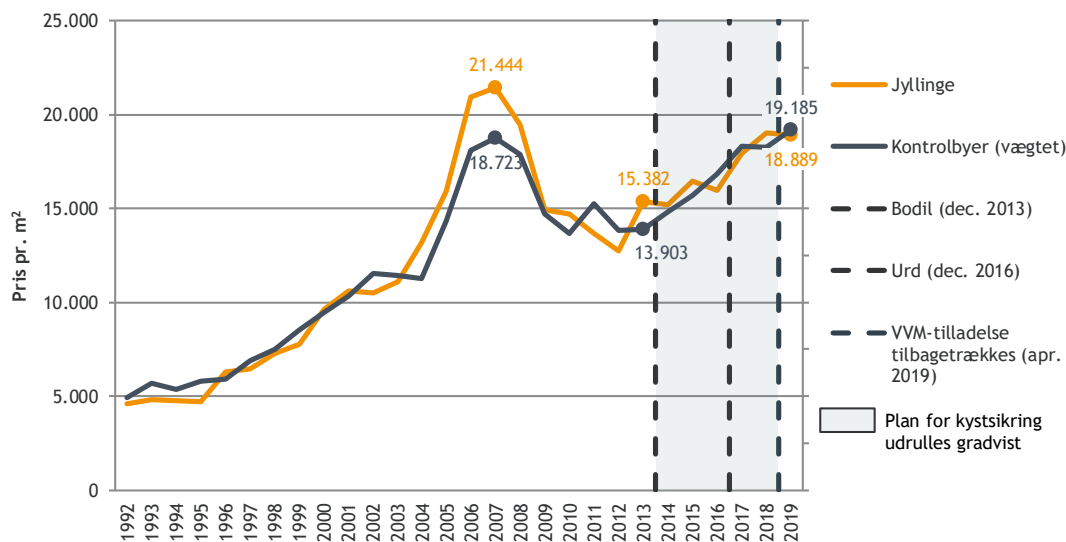
Huspriserne i Jyllinge Nordmark kan i løbet af perioden være blevet påvirket af mange andre ting end oversvømmelser. Som kontrol bruger vi derfor husprisudviklingen i nabobyerne Frederikssund, Ølstykke og Stenløse, der ikke har været ramt af stormfloder.⁹

Efter Bodil i 2013 arbejdede Roskilde Kommune på at udrulle en kystsikringsplan for Jyllinge Nordmark. I april 2019 blev VVM-tilladelsen til kystsikringsplanen trukket tilbage, og planerne om en kystsikring stoppede.

Huspriserne i Jyllinge er faldet med mellem 0% og 12% som følge af oversvømmelserne afhængigt af sammenligningsår. Fra 2013, dvs. inden oversvømmelserne, og indtil 2019 er priserne i Jyllinge fx faldet med 2%, mens de er steget med 11% i kontrolbyerne, jf. figur 1. Det er en forskel på 12%. Disse 12% er et øvre skøn for, hvor meget huspriserne kan falde som følge af oversvømmelser.

⁹ Grundlaget for opgørelsen er således, at huspriserne i Jyllinge ville have fulgt huspriserne i de øvrige byer, hvis ikke området havde været udsat for oversvømmelser.

Figur 1 **Udvikling i huspriser**



Kilde: Beregninger på data for hushandler fra boliga.dk.

Note: Kontrolbyer er Frederikssund, Ølstykke og Stenløse. Der indgår kun boliger solgt ved almindeligt salg og ikke fx familiekøb.

Som centralt skøn for, hvor meget huspriserne er faldet som følge af oversvømmelse, benytter vi 6%.

En stormflod påvirker boligejerne på flere måder. Nogle er allerede medregnet under effekterne for bygningsjere i afsnit 5.1, fx de materielle skader. Andre er ikke medregnet, fx gene for beboerne.

Vi har i denne analyse korrigeret for, at en del af huspriserfaldet skyldes udgifter til udbedring, som allerede er medregnet i analysen. Samlet set vurderer vi derfor, at de effekter, som ikke er medregnet, svarer til et huspriserfald på 3%. Vurderingen er forbundet med betydelig usikkerhed.

Stormfloders effekt på huspriser i Hvidovre og København

Kvadratmeterprisen i Hvidovre var 30.200 kr. i 2019.¹⁰ Med et fald på 3% svarer en stormflod til et tab på 900 kr. pr. m² bolig. Vi forudsætter, at prisen stiger reelt med 1,9% pr. år frem til 2030¹¹, og at huspriserfaldet ved en stormflod vil stige proportionalt. Efter 2030 forudsætter vi, at huspriserne er konstante.

Kvadratmeterprisen i København SV¹² var 34.000 kr. i 2019.¹³ Med et fald på 3% svarer en stormflod til et tab på 1.000 kr. pr. m² bolig. Vi forudsætter, at prisen stiger reelt med 3,1% pr.

¹⁰ Kilde: Beregninger på data for hushandler fra boliga.dk.

¹¹ Det svarer til den halve stigning af den gennemsnitlige årlige stigning fra 1998 til 2019.

¹² Vi baserer den københavnske kvadratmeterpris på postnr. 2450, hvor langt den største del af oversvømmelsen i København vil forekomme.

¹³ Kilde: Beregninger på data for hushandler fra boliga.dk.

år frem til 2030¹⁴, og at husprisen vil stige proportionalt. Efter 2030 forudsætter vi, at huspriserne er konstante.

I København bliver op til 1,4 mio. m² stueetage oversvømmet, hvis vandstanden stiger med 5 meter, jf. tabel 9.¹⁵ I Hvidovre er tallet 0,6 mio. m².

Tabel 9

Oversvømmede m² bolig i stueetagen

Kote ved Kalveboderne, meter	København	Hvidovre
1,50	18	2.335
1,75	52	25.338
2,00	218	48.310
3,00	15.826	188.238
3,50	60.156	302.159
4,25	206.259	452.371
4,50	1.190.908	487.228
5,00	1.408.441	582.468

Kilde: Rambøll (2020).

Note: Tallene er hentet fra BBR-registret og dækker derfor i hele analyseperioden kun over boliger, der findes i 2020.

Vi regner med, at oversvømmede stuearealer i Hvidovre og København mister 3% af deres værdi, hvilket svarer til hhv. 900 kr. pr. m² og 1.000 kr. pr. m² i 2020.

Det samlede tab for boligejerne i 2020 bliver 640 mio. kr., hvis der indtræffer en stormflod med en kote på 4,25 ved Kalveboderne, jf. tabel 10.

¹⁴ Det svarer til den halve stigning af den gennemsnitlige årlige stigning fra 1998 til 2019.

¹⁵ Vi har forsimpelt antaget, at kvadratmetertallet er det samme for alle år.

Tabel 10

Nutidsværdi ved tab af boligværdi for ejerne i Hvidovre og København (i alt) i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	30	10	0	0
2,00	50	20	10	0
3,00	200	80	30	10
3,50	360	140	60	20
4,25	640	250	100	40
4,50	1.530	590	230	90
5,00	1.820	690	270	110

Kilde: Egne beregninger.

Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

5.2 Kommunal infrastruktur

Veje og transformerstationer

Skadesomkostningerne fra transformerstationer er meget små og er ikke udslagsgivende for det samlede resultat. Ved en kote på 4,25 meter ved Kalveboderne i 2020 er der vejskader for 330 mio. kr., jf. tabel 11.

Tabel 11

Nutidsværdi af skadesomkostninger på veje i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	0	0	0	0
2,00	10	0	0	0
3,00	40	10	10	0
3,50	190	60	20	10
4,25	330	100	40	20
4,50	780	240	100	40
5,00	890	280	110	50

Kilde: Rambøll (2020).

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

5.3 Ejere af kollektiv transportinfrastruktur

Når transportinfrastruktur oversvømmes, medfører det 3 typer af samfundsøkonomiske omkostninger:

- Skadesudbedring af anlæg (dette afsnit)
- Driftstab (dette afsnit)
- Forsinkelse for passagererne (afsnit 5.4 til 5.5) og afledte forsinkelser for vejtrafikanter (afsnit 5.6)

Skadesudbedring af anlæg

Hvis infrastruktur oversvømmes, vil ejerne have ansvar for at udbedre skaderne. Omkostningerne dækker bl.a. at fjerne vandet og reparere skinner/vejspor mv.

Banedanmark ejer jernbanerne i København. Hvis de bliver oversvømmet, koster det 3.000 kr. pr. oversvømmet m² (jf. Rambøll, 2020). Tabel 12 viser Banedanmarks omkostninger ved at udbedre skaderne alt efter, hvor høj vandstanden bliver.

Tabel 12

Nutidsværdi af jernbaneskinnebrud (tog) i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	0	0	0	0
2,00	0	0	0	0
3,00	0	0	0	0
3,50	80	30	10	0
4,25	170	50	20	10
4,50	780	240	100	40
5,00	940	290	110	50

Kilde: Rambøll (2020).

Note: Estimatet inkluderer ikke, hvis der sker en påvirkning af værksteder til tog, eller om Trafiktårn Øst påvirkes. Skaderne er alene opgjort for skinnebrud.

Omkostningerne dækker både over passager- og godstogs spor. Vi forudsætter, at Banedanmark afholder hele omkostningen, selvom andre interessenter ejer mindre dele af jernbanenetværket.

Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Ud over jernbaneskinnebrud er der anlægsskader på metroen, lufthavnen og Øresundsbroen. Særligt Metroselskabet har store skadesomkostninger i tilfælde af oversvømmelse. Linje M1 og M2 koster 2,2 mia. kr. at reparere, jf. tabel 13.

Det skal dog tages i betragtning, at metroen først oversvømmes ved en kote på omkring 4,38 ved Kalveboderne, hvilket der kun er lille risiko for. I 2020 svarer det ca. til en 2.000-årshændelse. Metroen er derfor først for alvor udsat i analyseperiodens senere år, hvor omkostningen pga. diskontering er relativt lille.

Tabel 13 **Nutidsværdi af skade på kollektive infrastrukturelementer i tilfælde af stormflod, mio. kr.**

Skadet element	Ejer	Kritisk kote ved Kalveboderne, m	2020	2050	2080	2120
Metro M1+M2	Metroselskabet	4,38	2.200 ¹	680	270	110
Metro M3+M4	Metroselskabet	4,38	1.100 ¹	340	130	60
Københavns Lufthavn	Københavns Lufthavn	3,25	1.080 ²	330	130	50
Øresundsbroen (tog og bil)	Sund & Bælt	4,38	600 ³	190	70	30

Kilder: ¹ Skøn baseret på interview med Metroselskabet. Skadesudbedring af M1, M2, M3 og M4 koster 2.900-3.700 mio. kr.

² COWI (2016).

³ Interview med Sund & Bælt. De estimerer, at skadesudbedring koster 200-1.000 mio. kr. Vi anvender et centralt skøn.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Note: For 2050, 2080 og 2120 har vi anvendt uændrede omkostningsskøn, da vi regner i faste priser. De lavere tal er alene et udtryk for diskontering.

Driftstab

Hvis infrastruktur oversvømmes, vil passagererne i en periode ikke kunne benytte den. Det medfører et tab af billetindtægter for operatørerne. For S-tog, fjerntog og metro opgør vi driftstab ud fra:

- Antallet af passagerer, der ikke kan købe billet.
- Mistet indtægt pr. passager.

Driftstab i lufthavnen og for Øresundsbroen er fra COWI (2016), der har baseret beregningerne på selskabernes regnskaber.

Vi opgør i afsnit 5.4, hvor mange kollektive passagerer der må omlægge deres rute. Vi har opgjort den gennemsnitlige mistede billetindtægt pr. passager i 2020 til 11 kr. for S-tog, 17 kr. for fjerntog og 12 kr. for metro, jf. tabel 14.

Tabel 14 **Mistet billetindtægt pr. passager, kr.**

	Gns. pris pr. zone, 2020, kr. ¹	Gns. antal zoner mistet ²	Driftstab pr. påvirket passager, kr.
S-tog	5,6	2	11
Fjerntog	5,6	3	17
Metro	5,9	2	12

Kilder: ¹ Vi har estimeret billetandele i 2019 ud fra Transportvaneundersøgelsen. For S-tog rejste fx 58% på rejsekort, 37% på pendlerkort og 2% rejste på billet til fuld pris. Rejsekort koster ca. 6 kr. pr. zone (<https://www.rejsekort.dk/da/hjaelp/priser>). Vi forudsætter, at periodekort koster 0,8 gange så meget som rejsekort pr. zone, dvs. 4,8 kr. Billet til fuld pris koster ca. 1,8 gange så meget som rejsekort pr. zone ifølge Rejseplanen, dvs. 10,8 kr. 5,6 kr. er et vægtet gennemsnit af billetyperne. Vi har brugt en tilsvarende opgørelse til fjerntog (i Transportvaneundersøgelsen 'andet tog') og metro.

² Skøn, Incentive.

Vi bruger den gennemsnitlige indtægt tabt pr. passager til at estimere det samlede driftstab ved skade på de kollektive infrastrukturer i 2020. Hvis Hovedbanegården oversvømmes i 2020, koster det DSB 763 mio. kr. i driftstab fra S-tog, jf. tabel 15.

Tabel 15

Nutidsværdi af driftstab på kollektive infrastrukturelementer i tilfælde af stormflod, mio. kr.

Skadet element	Driftsudøvende	Kote ved Kalveboderne, m	2020	2050	2080	2120
S-tog (Køgestrækningen)	DSB	3,88	140 ¹	50	20	10
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	DSB	4,38	290 ¹	100	40	20
Fjerntog	DSB	4,38	540 ¹	200	80	30
Metro M1+M2	Metroselskabet	4,38	610 ¹	270	110	40
Metro M3+M4	Metroselskabet	4,38	380 ¹	280	110	50
Københavns Lufthavn	Københavns Lufthavn	3,25	4.230 ²	1.300	510	210
Øresundsbroen (tog og bil)	Sund & Bælt	4,38	2.110 ²	650	250	110
Godstransport på jernbane	Banedanmark*	3,25	10 ³	10	0	0

Kilder: ¹ Egne beregninger baseret på gennemsnitligt driftstab pr. passager. Bemærk, at vi forudsætter, at hhv. DSB og Metroselskabet lider tab, selvom de indsætter togbusser i stedet og derved stadig betjener nogle af passagererne. Vi skønner, at det ikke er udslagsgivende for resultaterne, da meromkostningen ved at indsætte togbusser går omtrent lige op med driftstab.

² COWI (2016) baseret på regnskaber fra CPH Lufthavn og Sund & Bælt.

³ Antal godstog, der ikke kører gennem Danmark, er opgjort i afsnit 5.7. De mister hver 180 kilometers baneafgift (København-Rødby). Baneafgiften er på 6,4 kr. i 2020, jf. Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91.

Note: *Sund & Bælt ejer jernbanen frem til Sjællandsbroen, men driftstabet går ud over godstransporten gennem hele Danmark. Denne drift afholdes primært af Banedanmark.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Efter 2020 fremskrives omkostningen med væksten i passagerer, jf. afsnit 5.4 til 5.7, og omregnes til nutidsværdi i 2020.

5.4 Kollektivt rejsende

Forsinkelser for passagerer

Kollektivt rejsende med tog og metro må omlægge deres rejser, hvis hele eller dele af deres planlagte strækning lukkes i forbindelsen med en stormflod. Det koster dem tid. Hvis vandstanden fx når 4,38 meter ved Kalveboderne i 2050, så Hovedbanegården kommer ud af drift, koster det S-togspassagererne 1,0 mia. kr. i forsinkelsesomkostninger, jf. tabel 16.

Tabel 16

Nutidsværdi i 2020 af passagerers forsinkelse i tilfælde af lukning af kollektive strækninger, mio. kr.

Skadet element	Kritisk kote ved Kalveboderne, m	2020	2050	2080	2120
S-tog (Køgestrækningen)	3,88	1.040	440	230	130
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	4,38	2.190	1.010	700	300
Fjerntog	4,38	2.800	1.420	730	430
Metro M1+M2	4,38	1.620	860	440	260
Metro M3+M4	4,38	1.010	970	500	290
Øresundsbroen (togpassagerer)	4,38	580	360	180	110

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Forsinkelseeffekter i 2020

Vi har opgjort generne for to grupper af kollektivt rejsende:

- De direkte påvirkede. Det er dem, hvis rejse går langs et stykke jernbane, der bliver oversvømmet ved stormflod. De forsinkes, fordi de må omlægge deres rejse.
- De indirekte påvirkede. Det er dem, som kører på en linje, hvor noget af banen er lukket, men som ikke selv rejser langs jernbanestykket. De forsinkes, fordi togfrekvensen falder, hvis nogle stationer på linjen er lukkede.

Vi benytter officielle kilder for trafiktal. Det er derfor rimelig sikkert, hvor mange passagerer der påvirkes. Hvis S-togene ikke kan køre gennem Hovedbanegården, vil 25,8 mio. S-togspassagerer påvirkes direkte, mens 56,2 mio. bliver indirekte påvirket gennem lavere togfrekvens, jf. tabel 17.

Det er omvendt forbundet med stor usikkerhed, *hvor meget* hver passager påvirkes, da det afhænger af passagerernes nye rejsemønster. Vi skønner, at alt efter strækning vil forsinkelsen for de direkte påvirkede være mellem 15 og 45 minutter pr. rejse, jf. tabel 17.

Tabel 17

Antal påvirkede rejser i 2020, mio.

Skadet element	Luknings- periode, dage	Direkte påvirkede		Indirekte påvirkede		Forsinkelse i alt, mio. kr ¹
		Antal, mio.	Forsinkelse, min./rejse	Antal, mio.	Forsinkelse, min./rejse	
S-tog (Køgestrækningen)	365	12,8 ²	30 ⁵	23,5 ²	5 ⁸	1.040
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	365	25,8 ²	30 ⁵	56,2 ²	15 ⁸	2.190
Fjerntog	365	32,5 ²	30 ⁵	25,1 ²	9 ⁸	2.800
Metro M1+M2	319	43,7 ³	15 ⁶	0	-	1.620
Metro M3+M4	274	8,1 ³	15 ⁶	0	-	1.010
Øresundsbroen (togpassagerer)	183	6,1 ⁴	45 ⁷	0	-	580

Kilder og noter:

¹ Ved omregning af forsinkelse i alt fra minutter til kr. har vi anvendt en gennemsnitlig værdi af tid i 2020 på 125 kr./time, jf. Transportøkonomiske Enhedspriser v1.91 (vægtet gennemsnit af alle turformål).

² Kilde: Skøn baseret på maksimale snit fra Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (2017). Vi omregner fra hverdagsdøgn til år med en faktor 256 beregnet ud fra Transportvaneundersøgelsen. For fjerntog har vi ikke medregnet effekter på passagerer, der starter eller slutter rejsen uden for Sjælland. Denne effekt antages at være lille.

³ MOE|Tetraplan (2017). Vi forudsætter for både metrolinjerne M1+M2 og M3+M4, at driften lukker helt.

⁴ I 2019 rejste 12,2 mio. togpassagerer over Øresundsbroen (<https://www.oresundsbron.com/da/info/trafik-og-transportvolumen>).

⁵ Det svarer fx til, at passagererne skifter togstrækningen mellem Hundige og Ny Ellebjerg ud med togbus. Det tager ca. 10 minutter længere at køre (skønnet ud fra Google Maps og Rejseplanen), og derudover skal passagererne skifte 2 gange. Skiftene tager ca. 5 minutter hver, og dertil lægges en skiftetraff på 6 minutter (standardværdi fra Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91). Vi antager, at genen for fjerntogspassagerer er lige så stor.

⁶ Turene er generelt korte, og passagererne slipper sandsynligvis for skiftetraff ved at overgå til togbusser.

⁷ Hvis Øresundsbroen lukkes, vil den alternative rute for de fleste passagerer gå over Helsingør-Helsingborg-forbindelsen. Vi regner med, at en gennemsnitlig passager skal bruge 1 time ekstra på at gennemføre sin tur. Det svarer til, at den gennemsnitlige turlængde på rejser over Øresund er afstanden mellem Lund og Taastrup (udgjort af mange korte ture mellem Malmø og København, samt nogle lange ture, der øger gennemsnittet). Fordi genen ved omkørslen er markant, forudsætter vi, at halvdelen af passagererne aflyser deres tur, og at genen ved aflysning er halvt så stor som ved at gennemføre turen via omvej, dvs. 30 minutter. En gennemsnitlig togpassager over Øresund lider derfor et tidstab på 45 minutter.

⁸ S-togenes frekvens halveres fra hvert 10. minut til hvert 20. minut, så passagererne i gennemsnit skal rykke deres tur 5 minutter. Fjerntog kører mindre frekvent, og omkostningen for fjerntogspassagerer er derfor 15 minutter.

Forsinkelseeffekter i årene efter 2020

Der er 3 ting, der ændrer sig løbende fra 2020 frem mod 2120:

- Passagertal
- Værdien af tid
- Diskonteringsrenten.

Der vil med årene være flere kollektivt rejsende med både S-tog, fjerntog og metro samt over Øresundsbroen, jf. tabel 18. Derfor vil flere passagerer blive ramt af forsinkelse, jo længere ude i fremtiden elementerne oversvømmes.

Tabel 18

Vækst i rejser

	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2050	2050-2120
S-tog ¹	0,4%	0,9%	0,9%	0,2%	0,0%
Fjerntog ¹	4,1%	0,6%	0,6%	0,1%	0,0%
Metro ¹	11,9%	1,2%	1,2%	0,5%	0,0%
Øresundsbroen ² (togpassagerer)	2,2%	2,2%	1,1 %	1,1%	0,0%

Kilder:

¹ MOE|Tetraplan (2017) opgør vækst i kollektiv transport frem til 2025, 2035 og 2035+. Vi har anvendt 2035+ som 2050. Efter 2050 har vi antaget, at der ikke er vækst i kollektiv transport.

² Delrapport från Sverigeförhandlingen (2017) regner på baggrund af en Landstrafikmodelkørsel med, at væksten i kollektiv trafik over broen er 2,2% om året frem til 2030. Vi har forudsat, at væksten derefter halveres til 1,1% om året indtil 2050 for derefter at være 0% indtil 2120.

Jo rigere borgerne er, jo mere er de villige til at betale for goder. Det gælder også deres betalingsvillighed for tid. Derfor har borgerne med årene større betalingsvillighed for at undgå genen ved at omlægge deres rejse. Efter 2020 stiger forsinkelsesomkostningen derfor med udviklingen i BNP, jf. standardmetoden i Transportministeriet (2015).

Omvendt diskonteres omkostningen med den officielle diskonteringsrente, jf. afsnit 1.2. Derfor bliver 2020-værdien af forsinkelsesomkostningerne ved en stormflod samlet set mindre, jo senere den falder.

Som eksempel betyder det for S-tog via Hovedbanegården, at forsinkelsesomkostningen ved oversvømmelse i 2120 er 300 mio. kr., jf. tabel 19.

Tabel 19

Eksempel på beregning af forsinkelse i 2120, mio. kr.

Skadet element	Forsinkelse 2020	Trafikvækst 2020-2120	Real vækst i tidsværdi 2020-2120	Diskonterings- rente 2120	Forsinkelse 2120
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	2.190	14% ¹	144% ²	95% ³	300

Kilder: ¹ Beregnet ud fra MOE|Tetraplan (2017).

² Beregnet ud fra Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91.

³ Finansministeriet (2019).

5.5 Flypassagerer

Forsinkelser for passagerer

Hvis Københavns Lufthavn oversvømmes, så der ikke er nogen drift, koster det passagererne 7,7 mia. kr. i forsinkelsesomkostninger i 2020, jf. tabel 20. Omkostningen falder løbende til 1,3 mia. kr. i nutidsværdi, hvis lufthavnen oversvømmes i 2120.

Tabel 20

Nutidsværdi af flypassagerers forsinkelse i tilfælde af stormflod, hvor Københavns Lufthavn lukker, mio. kr.

	Kritisk kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
I alt	3,25	7.740	4.230	2.170	1.280

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Den høje omkostning skyldes 2 ting:

1. En lukning af lufthavnen rammer mange passagerer.
2. Passagererne har generelt dårlige rejsealternativer, så genen for hver enkelt passager er stor. Vi forudsætter, at hver passager forsinkes med 2 timer (COWI, 2016). Det er forbundet med betydelig usikkerhed.¹⁶

I 2018 rejste godt 30 mio. passagerer til eller fra Københavns Lufthavn¹⁷, og det forventes at stige til 40 mio. i 2040¹⁸, hvilket svarer til en vækst på 1,3% om året. Fra 2040 til 2050 forudsætter vi den halve vækst, 0,6%, så passagertallet i 2050 er 42 mio. Efter 2050 forudsætter vi, at antallet af passagerer ikke udvikler sig.

I 2020 regner vi således med, at 31 mio. passagerer rejser til eller fra Københavns Lufthavn. Hvis lufthavnen oversvømmes, svarer det til en omkostning på 62 mio. tabte persontimer á 125 kr. (Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91). I alt er omkostningen derfor 7,7 mia. kr.

5.6 Vejtrafikanter

Trafikforstyrrelser fra hovedveje

Hvis nogle hovedveje står under vand, må vejtrafikanter omlægge deres rejse. Det skaber forsinkelse og øger trængslen på vejene. Ved en stormflod på 4,25 meter i 2020 er omkostningen 930 mio. kr., jf. tabel 21. Omkostningen falder frem mod 2120. Udviklingen er en kombination af, at omkostningen stiger som følge af løbende større sandsynlighed for høje vandstande pga. generel trend, men til gengæld bliver mindre i nutidsværdi som følge af tilbagediskontering.

¹⁶ Vi forudsætter her, at det gennemsnitlige tab på 2 timer pr. passager inkluderer, at nogle vil undlade at rejse. For dem, der undlader at rejse og dermed ændrer adfærd, er tabet halvt så stort (rule-of-a-half) som for dem, der vælger at flyve via en anden lufthavn. Hvis 75% fortsætter med at rejse, betyder det således, at de forsinkes 2,3 timer, mens de, der undlader at rejse, har en gene på 1,15 time.

¹⁷ Kilde: <https://www.cph.dk/om-cph/investorer/trafikstatistik/2020/1/cph-trafiktal-2019>

¹⁸ Kilde: <https://www.cph.dk/en/about-cph/press/news/2014/1/expanding-cph>

Tabel 21

Nutidsværdi af forsinkelse på hovedveje i tilfælde af stormflod ved given kote i givent år, mio. kr.

Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
1,50	0	0	0	0
1,75	0	0	0	0
2,00	0	0	0	0
3,00	50	20	10	0
3,50	390	120	50	20
4,25	930	290	110	50
4,50	1.120	350	140	60
5,00	1.180	360	140	60

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Forsinkelse fra øget trængsel

Når den kollektive transport er ude af drift, skal de rejsende omlægge deres rute. For nogle betyder det, at de foretager rejsen med bil i stedet. Vi opgør trængselseffekten som en afledt effekt af hver af de kollektive strækninger, der er ude af drift. For at opgøre trængselseffekten anvender vi 3 input:

- Antal kollektivt rejsende, der må omlægge deres rejse i tilfælde af en stormflod (opgjort i afsnit 5.4).
- Andelen af disse rejsende, der skifter til bil og derved bidrager til trængsel.
- Forsinkelseeffekten på eksisterende bilister for hver kollektivt rejsende, der skifter til bil. Vi differentierer ikke ud fra, hvor eller med hvilket kollektivt transportmiddel rejsen normalt foretages. Vi ser på en gennemsnitlig turs længde og differentierer derfor heller ikke på, hvor lange de overflyttede rejser er.

Vi forudsætter, at 20% af de påvirkede kollektivt rejsende flytter deres tur til bil.¹⁹ De øvrige 80% flytter til anden kollektiv transport, gang eller cykel, eller de undlader at rejse. Vi skønner med en betydelig usikkerhed, at hver overflyttet rejsende forsinkes de eksisterende bilister med i alt 5 minutter.²⁰

Trængselseffekten bliver større, jo flere kollektivt rejsende, der forhindres i at tage deres normale rejse. Hvis fx S-togspassagerer ikke kan rejse via Hovedbanegården, så 20% af dem rejser i bil i stedet, forsinkes de eksisterende bilister, så det svarer til 50 mio. kr. i 2020, jf. tabel 22.

¹⁹ Kilde: Skøn baseret på Incentive (2019), hvor 9% af væksten i kollektiv transport var overflyttet fra bil. Vi anvender et noget højere skøn, da en stormflod vil indebære et langt dårligere alternativ med kollektiv trafik end kilden. Bemærk, at de, der vælger at flytte rejsen til bil, er dårligere stillet, end de var i en situation uden stormflod.

²⁰ Kilde: Skøn baseret på COWI (2017b), der har vurderet effekten ved, at 10% af den kollektive trafik overflyttes til bil.

Tabel 22 **Nutidsværdi af bilpassageres forsinkelse, mio. kr.**

Skadet element	Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
S-tog (Køgestrækningen)	3,88	30	10	10	0
S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	4,38	50	20	10	10
Fjerntog	4,38	70	30	20	10
Metro M1+M2	4,38	110	60	30	20
Metro M3+M4	4,38	70	60	30	20

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

De 50 mio. kr. er resultatet af de input, vi har brugt til opgørelsen: Antal påvirkede kollektive passagerer, hvoraf 20% overflyttes til bil og hver især forsinker bilisterne med 5 minutter, jf. beregningseksemplet i tabel 23.

Tabel 23 **Beregningseksempel, S-tog via Hovedbanegården**

	2020	2050	2080	2120
(a) Mio. påvirkede passagerer ¹	26	28	28	28
(b) Mio. passagerer overflyttet til bil [(a)*20%]	5	6	6	6
(c) Trængselspåvirkning pr. passager, min. ²	5,0	5,0	5,0	5,0
(d) Mio. persontimer tabt [(b)*(c)/60]	0,4	0,5	0,5	0,5
(e) Omkostning pr. time, kr. ³	125	163	213	305
(f) Omkostning, mio. kr. [(d)*(e)]	50	80	100	140
Nutidsværdi af omkostning, mio. kr.	50	20	10	10

Kilde: ¹ Opgjort i afsnit 5.4. ² Skøn, jf. afsnit 5.5. ³ Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91.

Trængselseffekten ved de øvrige elementer er opgjort på samme måde, hvor kun antallet af påvirkede passagerer er anderledes.

Øresundsbroens biltrafik

Hvis Øresundsbroen er ude af drift, vil den alternative rute for de fleste bilister gå over Helsingør-Helsingborg-forbindelsen. Baseret på et skøn over den ekstra rejsetid ved at tage over Helsingør-Helsingborg skønner vi, at forsinkelsesomkostningen i 2020 er 690 mio. kr. og 120 mio. kr. i 2120, jf. tabel 24.

Tabel 24

Nutidsværdi af bilpassagerers forsinkelse på Øresundsbroen i tilfælde af stormflod, mio. kr.

	Kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
I alt	4,38	690	400	210	120

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

I 2019 kørte der 6,6 mio. biler over Øresund.²¹ Vi forudsætter en gennemsnitlig belægningsgrad på 2,2 (Delrapport från Sverigeförhandlingen, 2017), hvilket giver 14,5 mio. personer, der årligt krydser broen i bil. Med en lukningsperiode på ½ år, jf. tabel 5, vil 7,3 mio. bilister blive påvirket af en lukning. Vi forudsætter, at de hver forsinkes 45 minutter.²²

Efter 2019 forudsætter vi en trafikvækst på 1,9% frem til 2030 (Delrapport från Sverigeförhandlingen, 2017). Derefter forudsætter vi den halve vækst på 1,0% frem til 2050, hvorefter væksten er 0%.

I 2020 forventes 7,4 mio. bilister således at blive påvirket med et gennemsnitligt tab på 45 minutter, svarende til 94 kr. (Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91). Den samlede forsinkelsesomkostning i 2020 i tilfælde af driftslukning er derfor 690 mio. kr.

Ud over trafikvæksten bidrager også stigende tidsværdier til et lavere tab. Tabel 25 viser, hvordan vi fremskriver omkostningen til fx 2120.

Tabel 25

Eksempel på beregning af forsinkelse i 2020 og 2120, mio. kr.

Skadet element	Forsinkelse 2020	Trafikvækst 2020-2120	Real vækst i tidsværdi 2020-2120	Diskonterings- rente 2120	Forsinkelse 2120
Øresundsbroen (bil)	690	43% ¹	144% ²	95% ³	120

Kilder:

¹ Beregnet ud fra Delrapport från Sverigeförhandlingen (2017).

² Beregnet ud fra Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91.

³ Finansministeriet (2019).

²¹ Kilde: <https://www.oresundsbron.com/da/traffic-stats>

²² Kilde: Vi regner med, at en gennemsnitlig bilist skal bruge 1 time ekstra på at gennemføre sin tur. Det svarer til, at den gennemsnitlige turlængde på rejser over Øresund er afstanden mellem Lund og Taastrup (udgjort af mange korte ture mellem Malmø og København samt nogle lange ture, der øger gennemsnittet). Vi forudsætter, fordi genen ved omkørslen er markant, at halvdelen af passagererne aflyser deres tur, og at genen ved aflysning er halvt så stor som ved at gennemføre turen via omvej, dvs. 30 minutter. En gennemsnitlig togpassager over Øresund lider derfor et tidstab på 45 minutter.

5.7 Godsoperatører

Større transportomkostninger for godsoperatører

Der kører knap 9.000 godstog fra Malmø og gennem København via Øresundsbroen årligt.²³ Hvis togene bliver forhindret i at køre gennem København, må transportørerne finde andre måder at få godset frem. Ved en stormflod med en vandstand på 3,5 meter ved Kalveboderne vil det koste operatørerne 600 mio. kr. i 2020, jf. tabel 26.

Tabel 26

Nutidsværdi af godsoperatørernes øgede omkostninger til transport, hvis godstog ikke kan passere gennem København, mio. kr.

	Kritisk kote ved Kalveboderne, meter	2020	2050	2080	2120
I alt	3,25	600	420	160	70

Kilde: Egne beregninger.

Note: Omkostninger angiver skadens størrelse, hvis vandstanden når det angivne niveau.

Opgørelse i 2020

Hvis transitgodstog ikke kan køre gennem København, er der en række alternative muligheder. Vi har beregnet konsekvenser for 2 eksempler:

- Eksempel 1: Godset kører i lastbil til kombiterminalen i Hamborg, hvorefter det kører til destinationen i tog.
- Eksempel 2: Godset kører i lastbil hele vejen.

Begge muligheder forudsætter altså, at godset transporteres over Øresund i lastbil ved Helsingør-Helsingborg-forbindelsen. Vi forudsætter, at hvert godstog kører med 25 vogne.²⁴ Dvs. at 1 tog skal erstattes af 25 lastbiler.

Vi regner med, at et gennemsnitligt godstog, der kører gennem København, kører 1.200 km. Det svarer til strækningen Malmø-München. Med normal transport via tog koster det 7.700 kr. pr. godstogsvogn at køre mellem Malmø og München (inkl. omlastning og for- og eftertransport), svarende til 200.000 for et godstog, jf. tabel 27. Det vil koste 10.400 kr. pr. godstogsvogn, hvis der skal omlastes i Hamborg i stedet for Malmø, og 10.800 kr., hvis godset transporteres i lastbil hele vejen.

²³ Kilde: <https://www.oresundsbron.com/da/info/trafik-og-transportvolumen>

²⁴ Kilde fra projekt 1654: Antagelse fra SØK "Dobbeltspor i Sønderjylland" + Tetraplanrapport om "Mere gods på banen".

Tabel 27

Pris pr. godstogsvoan for transport mellem Malmø og München, kr.

Enhed	Tog		Lastbil		Omlastning	I alt
	Km	Kr.	Km	Kr.	Kr.	Kr.
Ingen stormflod (normal transport)	1.200	5.500 ¹	50 ²	1.700 ³	465 ⁴	7.700
Eksempel 1 (omlastning i Hamborg)	800	3.300 ¹	450 ²	7.000 ³	370 ⁵	10.400
Eksempel 2 (lastbil hele vejen)	0	0	1.200	10.800 ³	0	10.800

Kilder og noter:

¹ Beregninger baseret på togdriftspriser fra Trafik- og Byggestyrelsen (2016) samt 138 kr. for at krydse Øresundsbroen (Transøkonomiske Enhedspriser v. 1.91) og 800 kr. for at krydse Femern Bælt-forbindelsen (Incentive, 2016). Togdriftspriser inkluderer selve togprisen (line haul), infrastrukturafgift, miljøtilskud og en margin på 10% til baneoperatøren. Prisen er 3,8 kr. pr. km.

² Heraf 2x25 km i for- og eftertransport. De koster 850 kr. hver (Trafik- og Byggestyrelsen, 2016).

³ Beregninger baseret på Trafik- og Byggestyrelsen (2016). Inkluderer selve vejprisen samt Maut (tysk vejafgift). Prisen er 6,8 kr. pr. km. Ved mulighed 1 og 2 er der desuden tillagt 450 kr. for at krydse Øresundsbroen (Transportøkonomiske Enhedspriser v. 1.91) og 2.128 kr. for at krydse Femern Bælt-forbindelsen (Intraplan 2014).

⁴ Omlastning i Malmø og München til hhv. 268 kr. og 197 kr. (Trafik- og Byggestyrelsen, 2016).

⁵ Omlastning i Hamborg og München til hhv. 173 kr. og 197 kr. (Trafik- og Byggestyrelsen, 2016).

Note: Alle priser er fremskrevet til 2020-priser med nettoprisindekset.

Det vil derfor være optimalt for operatørerne at omlaste i Hamborg i stedet for Malmø, hvis de ikke kan køre det med tog gennem København. Vi har i beregningerne forudsat, at det koster 2.700 kr. ekstra pr. godstogsvoan, hvis godset skal transporteres i lastbil som alternativ over Øresund. Det svarer til ekstraomkostningen i eksempel 1 med omlastning i Hamborg. Med 8.800 godstog i 2020 á 25 vogne bliver omkostningen dermed 600 mio. kr. ved en lukningsperiode på 1 år.

Opgørelse i årene efter 2020

Der er to ting, der ændrer sig efter 2020:

- Antallet af godstog
- Diskonteringsrenten.

Når den faste Femern Bælt-forbindelse åbner i 2028, bliver det mere attraktivt at transportere gods gennem Danmark. Derfor vil flere godstog også passere gennem København. I 2028 forventer vi, at 15.500 godstog krydser Øresundsbroen, jf. tabel 28. Det stiger til 19.800 i 2047.

Tabel 28

Jernbanegodstransport over Øresundsbroen

	2020-2027	2028	2030	2035	2047	2120
Antal godstog	8.800	15.500	16.000	17.200	19.800	19.800
Antal godstogsvogne	220.000	388.200	400.300	429.800	495.600	495.600

Kilde: Incentive (2015) baseret på opgørelse fra Femern A/S. Femern A/S antog i den forbindelse, at 90% af de godstog, der krydser Femern Bælt, har krydset Øresundsbroen. Vi interpolerer lineært mellem de år, der er oplyst data for. Efter 2047 antager vi, at der ikke er vækst i antallet af godstog.

I 2120 er der således 2,3 gange flere godstog end i 2020, der bliver forsinket, hvis der kommer stormflod. Omvendt bliver omkostningen diskonteret med 95% i 2120.

6 Referencer

- CEBR, 2008. "Estimation af risikoaversion og diskonteringsrater".
- COWI, 2016. "Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København".
- COWI, 2017a. "Opdateret overslag for sikring af København mod stormflod".
- COWI, 2017b. "Samfundsøkonomisk værdi af kollektiv transport".
- COWI, 2019. "Udredning om stormflod og havvandsstigning i regi af regnvandsforum - stormflodsikring".
- Delrapport från Sverigeförhandlingen, 2017. "Ny fast förbindelse Helsingborg-Helsingör".
- DMI, 2017. Kommentering af rapporten "Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København" samt alternativ beregning af ekstremstatistik for stormfloder i Køge Bugt
- Energinet, 2017. "Stormflod i Københavns Kommune".
- Finansministeriet, 2017. "Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger".
- Finansministeriet, 2019. "Nøgletalskatalog".
- Incentive, 2015. "Samfundsøkonomisk analyse af en fast forbindelse over Femern Bælt."
- Incentive, 2019. "Ex post samfundsøkonomisk analyse af den eksisterende metro (M1/M2)".
- Intraplan, 2014. "Fehmarnbelt Forecast 2014 - Update of the FTC-Study of 2002 - ANNEX".
- Klimarådet, 2017. "Det oppustede CO₂-kvotesystem".
- Lundgrens, 2020. Bidragsmodeller og juridisk vurdering - Stormflodssikring af Kalveboderne
- MOE|Tetraplan, 2017. KIK2. "Trafikmodelberegninger 2025, 2035 og 2035+".
- Rambøll, 2020. "Stormflodssikring af Kalveboderne. Oversvømmelser og skadesomkostninger."
- Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2017. "Trafikplan for den statslige jernbane 2017-2032".
- Trafik- og Byggestyrelsen, 2016. "Fremme af gods på bane".
- Transportministeriet, 2015. "Manual for samfundsøkonomisk analyse på transportområdet".

Bilag 1: Resultater fordelt på skader

Tabel 29

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

Interessant	Kategori	Skade	Undgåede skader
Banedanmark	Driftstab	Godstransport på jernbane	0
	Skadesomkostning	Jernbaneskinner	20
Bygningsejere	Huspriser	Huspriser	380
	Simple skader	Elsvigt - erhverv (>5 t)	0
		Elsvigt - private (>5 t)	0
		Erhverv - skader, produktionstab og løssøre	640
		Privat beboelse	1.690
	Sygdom	50	
DSB	Driftstab	Fjerntog	10
		S-tog (Køgestrækningen)	10
		S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	0
Flypassagerer	Forsinkelsesomkostninger	Københavns Lufthavn	1.120
Kommunal infrastruktur - el	Simple skader	Transformerstationer	0
Kommunal infrastruktur - vej	Simple skader	Vej	60
Jernbanegods - operatører	Forsinkelsesomkostninger	Godstransport på jernbane	90
Københavns Lufthavn	Driftstab	Københavns Lufthavn	330
	Skadesomkostning	Københavns Lufthavn	80
Kollektivt rejsende	Forsinkelsesomkostninger	Fjerntog	80
		Metro M1+M2	50
		Metro M3+M4	50
		S-tog (Køgestrækningen)	50
		S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	60
		Øresundsbroen (tog)	20

(fortsættes på næste side)

Tabel 29
fortsat

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

Metroselskabet	Driftstab	Metro M1+M2	10
		Metro M3+M4	10
	Skadesomkostning	Metro M1+M2	40
		Metro M3+M4	20
Sund & Bælt	Driftstab	Øresundsbroen (tog og bil)	30
	Skadesomkostning	Øresundsbroen (tog og bil)	10
Vejtrafikanter	Forsinkelses- omkostninger	Vejtrængsel fra fjerntog	0
		Vejtrængsel fra metro M1+M2	0
		Vejtrængsel fra metro M3+M4	0
		Vejtrængsel fra S-tog (Køgestrækningen)	0
		Vejtrængsel fra S-tog via Hovedbanegården (ud over Køgestrækningen)	0
		Øresundsbroen (bil)	110
	Simple skader	Trafikforstyrrelser alle hovedveje	80
Total			5.140

Kilde: Egne beregninger.

Note: Undgåede skader angiver forskellen mellem et basisscenarie, hvor der ikke stormflodssikres yderligere, og et projektscenarie, hvor der sikres mod alle stormfloder fra syd. Resultatet udtrykker dermed de forventede skader fra 2020 til 2120 i nutidsværdier.

Bilag 2: Beskrivelse af skader

Tabel 30

Sammenhæng mellem skadesopgørelser i denne analyse og Rambøll (2020)

Skade, Incentive	Interessent	Skade, Rambøll (2020)
Privat beboelse	Bygningsejere	Beboelse - stueskade Beboelse - kælderskade Beboelse - oprydning Beboelse - genhusning
Elsvigt, privat beboelse	Bygningsejere	Beboelse - elsvigt
Sygdom	Bygningsejere	Sygdom - norovirus Sygdom - hepatitis A og leptospirose Sygdom - mental stress og angst
Erhverv - skader, produktionstab og løsøre	Bygningsejere	Erhverv - bygningsskade Erhverv - løsøre Erhverv - produktionstab Erhverv - oprydning
Elsvigt, erhverv	Bygningsejere	Erhverv - elsvigt
Transformerstationer	Kommunal infrastruktur - el	Hovedstationer (transformerstationer)
Trafikforstyrrelser alle hovedveje	Vejtrafikanter	Trafikforstyrrelser - hovedveje
Veje	Kommunal infrastruktur - vej	Vejbrud - retablering af vej Oprydning på vejarealer
Jernbaneskiner	Banedanmark	Jernbaneskinnebrud - retablering af jordbanket under jernbaneskiner

Bilag 3: Vurdering af konsekvenser for Avedøreværket og strømforsyning

Avedøreværket oversvømmes

Hvis Avedøreværket oversvømmes, kan det føre til skader, som betyder, at kraftværket ikke kan producere el og varme som normalt. Der kan derfor være omkostninger dels til retablering af skader og dels til omlægning af produktion på andre el- og varmeproduktionsanlæg.

Der er flere årsager til, at den samfundsøkonomiske omkostning ved oversvømmelse af Avedøreværket er relativt lille:

- Energinet vurderer i et notat fra 2017²⁵, at skader på Avedøreværket forårsaget af stormflod vil kunne udbedres i løbet af få dage.
- Elproduktionen vil rykke til andre produktionsanlæg i Danmark eller Sverige og Tyskland. Det sker regelmæssigt, når Avedøreværket har almindelige driftsforstyrrelser. Den samfundsøkonomiske omkostning er den marginale gevinst ved elproduktion på Avedøreværket.
- Hvis oversvømmelsen sker i varmesæsonen, skal varmeproduktionen rykkes over på enten andre kraftværker eller spidslasterheder.

Samlet set skønner vi, at den samfundsøkonomiske omkostning ved oversvømmelse af Avedøreværket selv i betydelige tilfælde næppe er mere end et tocifret millionbeløb.

Dertil kommer, at Avedøreværket næppe vil fortsætte i sin nuværende form i hele analyseperioden. Kraftværket er 30 år gammelt, elproduktion på kraftværker er blevet urentabelt, og klimaudfordringen medfører, at også varmeproduktion kan blive omlagt til ikke-fossilt brændsel. Det er derfor sandsynligt, at kraftværket kun vil indgå i de samfundsøkonomiske omkostninger tidligt i perioden, hvor de nuværende diger på Avedøre Holme yder god beskyttelse, og oversvømmelse derfor er meget lidt sandsynligt.

Strømforsyning forstyrres

Hvis en lokal transformerstation oversvømmes, vil det enten hurtigt kunne udbedres, eller der kan oprettes midlertidig nødforsyning.

Den regionale strømforsyning (fx til hele København) er indrettet, så strømmen kan leveres fra mange steder inkl. fra Sverige. Energinet (2017) vurderer, at skader på elforsyningsanlæg kan udbedres inden for få dage. De vurderer også, at der kun er en risiko for strømforsyningen til dele af København, hvis både Avedøreværket, Amagerværket, H.C. Ørstedsværket og Kastrup Transformerstation alle samtidigt er alvorligt beskadiget. Der er 3 forhold, der taler for, at dette er et meget lidt sandsynligt scenarie.

²⁵ Energinet (2017).

1. Det er næppe sandsynligt, at en stormflod fra syd vil oversvømme Amagerværket.
2. H.C. Ørstedsværket er primært reserveanlæg for elproduktionen.
3. Med det nuværende sikringsniveau og vandstands niveau er det næppe sandsynligt, at de 3 kraftværker stadig er i funktion på det tidspunkt, hvor havvandsstigning har gjort stormflod til en markant risiko.

Det er derfor vores vurdering, at risikoen for strømsvigt i København ikke har nogen markant betydning i den samfundsøkonomiske analyse.

Bilag 4: Følsomhed af diskonteringsrenter

Tabel 31

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

Kategori	Interessant	50% lavere diskontering	Standard diskontering	50% højere diskontering
Selskaber	Banedanmark	50	20	10
	DSB	40	20	10
	Københavns Lufthavn	880	410	240
	Metroselskabet	170	80	50
	Sund & Bælt	90	40	30
Trafikanter	Flypassagerer	2.810	1.120	570
	Kollektivt rejsende	760	310	160
	Vejtrafikanter	500	200	100
Andre	Bygningsejere	7.570	2.770	1.270
	Infrastruktur - el	0	0	0
	Infrastruktur - vej	170	60	30
	Jernbanegodsoperatører	210	90	50
Total		13.260	5.140	2.510

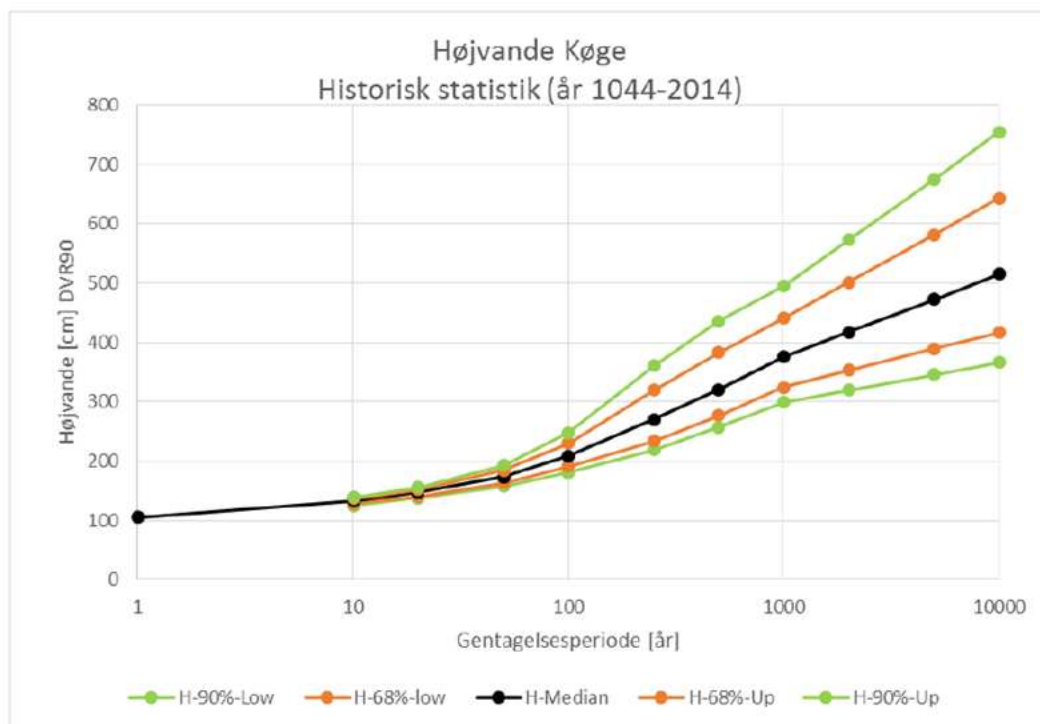
Kilde: Egne beregninger.

Note: Undgåede skader angiver forskellen mellem et basisscenarie, hvor der ikke stormflodssikres yderligere, og et projektscenarie, hvor der sikres mod alle stormfloder fra syd. Resultatet udtrykker dermed de forventede skader fra 2020 til 2120 i nutidsværdier.

Bilag 5: Simulering af vandstande

Vi bruger samme højvandsstandsfordeling som mediansceneriet i COWI (2016). Fordelingen er vist i figur 2.

Figur 2 Højvandsstatistik



Kilde: COWI (2016).
Note: Vi baserer vores simuleringer på mediansceneriet (blå).

En vandstand på 3,76 meter i 2015 svarer fx til en 1.000-årshændelse og indtræffer altså med 0,1% sandsynlighed i vores beregninger i 2015.

Pga. klimaforandringer stiger havvandet med årene, så risikoen for fx en vandstand på 3,76 meter er højere i senere år. I 2020 har en 1.000-årshændelse derfor en vandstand på 3,78, og i 2120 har den en vandstand på 4,93. Stigningerne i havvandsniveau er baseret på en antagelse om en polynomisk vækst på 0,87 meter fra 1990 til 2100.

DMI (2017) vurderer, at gentagelser, der er sjældnere end 1.000-årshændelser, er ekstremt usandsynlige. I tabel 32 har vi beregnet skaderne, hvis hændelser sjældnere end 1.000-års ikke kan opstå. Det betyder, at vandstanden maksimalt kan simuleres til 3,78 i 2020, og at den maksimalt kan simuleres til 4,93 i 2120.

Det mindsker særligt omkostningen for de interessenter, der er udsat ved høje vandstande. Fx falder Metroselskabets undgåede skader fra 80 mio. kr. til 20 mio. kr. med denne metode, jf. tabel 32.

Tabel 32

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

Forudsat trend i vandstandsstigning		Basis	Korrektion for DMI's vurdering af sjældne højvandstande
Selskaber	Banedanmark	20	10
	DSB	20	10
	Københavns Lufthavn	410	410
	Metroselskabet	80	20
	Sund & Bælt	40	10
Trafikanter	Flypassagerer	1.120	1.120
	Kollektivt rejsende	310	120
	Vejtrafikanter	200	180
Andre	Bygningsejere	2.770	2.420
	Infrastruktur - el	0	0
	Infrastruktur - vej	60	60
	Jernbanegodsoperatører	90	90
Total		5.140	4.440

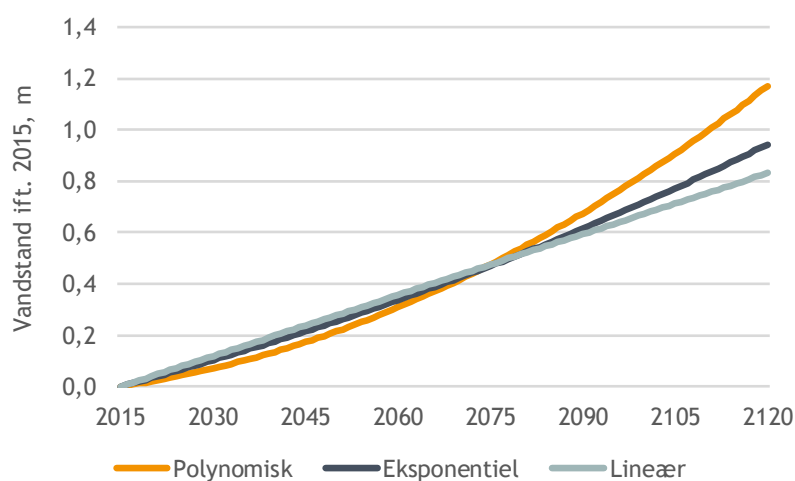
Kilde: Egne beregninger.

Note: Undgåede skader angiver forskellen mellem et basisscenarie, hvor der ikke stormflodssikres yderligere, og et projektscenarie, hvor der sikres mod alle stormfloder fra syd. Resultatet udtrykker dermed de forventede skader fra 2020 til 2120 i nutidsværdier.

Bilag 6: Følsomhed ved alternative antagelser om vandstandstrendens udvikling

Fra 1990 til 2100 forventes en havvandstigning på 87 cm (COWI, 2017a). Figur 3 viser, hvor høj vandstanden er ift. 2015 i hvert enkelt år frem til 2100. I årene frem til 2075 vil vandstanden være lavere, hvis man antager polynomisk vækst, end hvis den antagede vækst er eksponentiel eller lineær. Efter 2075 vil den dog være højest, hvis man antager polynomisk vækst.

Figur 3 Udvikling i vandstands niveau alt efter antagelse om væksttype



Kilde: Egne beregninger baseret på antagelse om en vandstandstigning på 87 cm fra 1990-2100.

Det påvirker, hvor sandsynlige forskellige skader er i forskellige år. Tabel 33 viser, at de forventede skadesomkostninger er omkring 300-400 mio. kr. lavere, hvis vandstandsstigningen følger en eksponentiel eller lineær trend og ikke en polynomisk trend, som det er forudsat i vores basisberegninger.

Tabel 33

Sandsynlighedsvægtet nutidsværdi 2020 af undgåede skader ved at etablere stormflodssikring, 2020-2120, mio. kr. (Positive tal angiver gevinster)

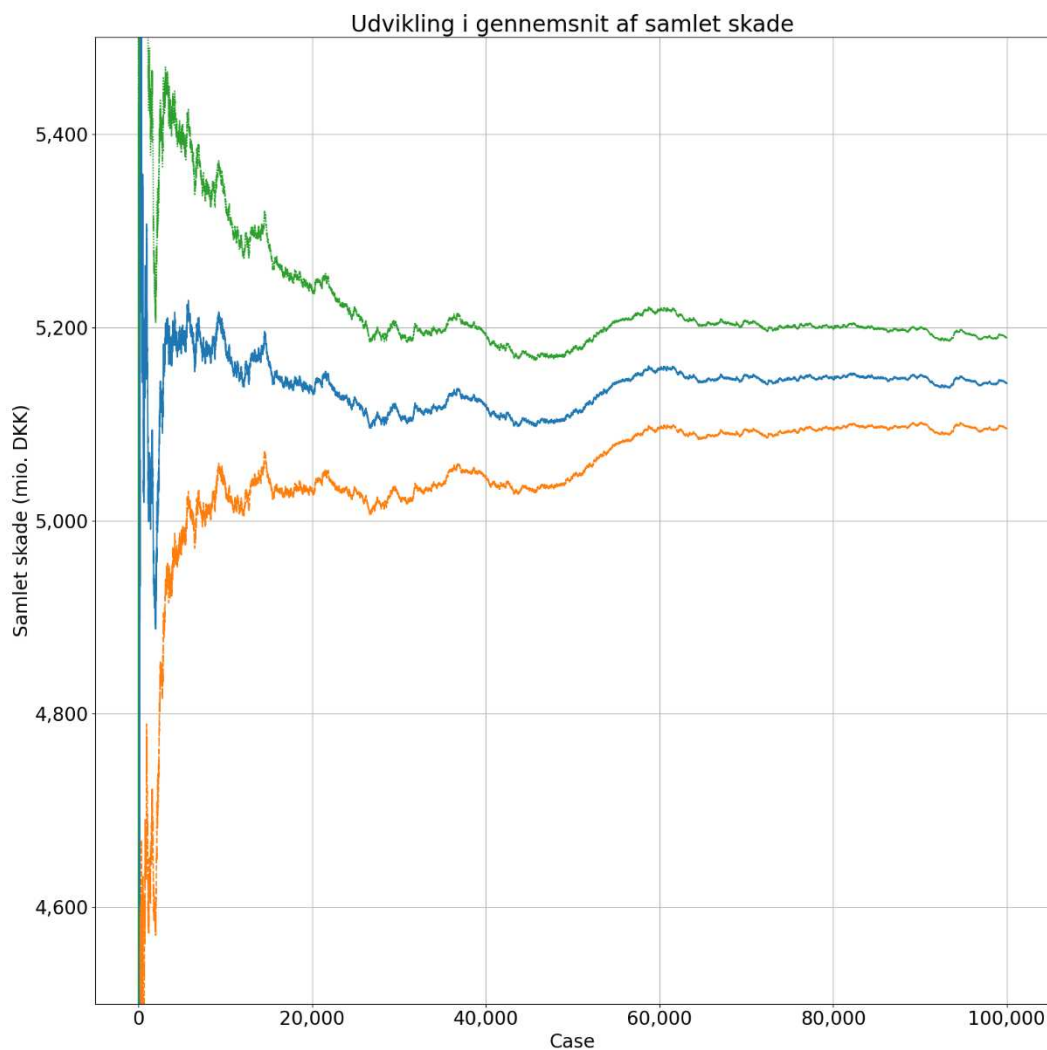
Forudsat trend i vandstandsstigning		Polynomisk (basis)	Ekspontiel	Lineær
Selskaber	Banedanmark	20	20	20
	DSB	20	20	20
	Københavns Lufthavn	410	410	410
	Metroselskabet	80	80	80
	Sund & Bælt	40	40	40
Trafikanter	Flypassagerer	1.120	1.090	1.070
	Kollektivt rejsende	310	300	300
	Vejtrafikanter	200	190	180
Andre	Bygningsejere	2.770	2.510	2.460
	Infrastruktur - el	0	0	0
	Infrastruktur - vej	60	60	60
	Jernbanegodsoperatører	90	90	90
Total		5.140	4.800	4.740

Kilde: Egne beregninger.

Note: Undgåede skader angiver forskellen mellem et basisscenarie, hvor der ikke stormflodssikres yderligere, og et projektscenarie, hvor der sikres mod alle stormfloder fra syd. Resultatet udtrykker dermed de forventede skader fra 2020 til 2120 i nutidsværdier.

Bilag 7: Præcision ved Monte Carlo-simulation

Figur 4 **Konfidensintervaller for undgåede skader i alt i basisscenariet, mio. kr., efter antal simulationer kørt i Monte Carlo**



Kilde: Egne beregninger. Blå = Midlestemat. Grøn = øvre 95% konfidensinterval. Orange = 95% nedre konfidensinterval.

De beregnede skader nærmer sig det sande niveau, efterhånden som flere simulationer køres. Efter ca. 60.000 simulationer stabiliserer resultatet sig omkring 5,1 mia. kr.

Efterhånden som flere simulationer køres, mindskes konfidensintervallet, og derved usikkerheden, også. Efter ca. 60.000 simulationer stabiliserer intervallet sig omkring +/- 50 mio. kr. omkring 5,1 mia. kr.